



**PFR ENVIRONMENTAL, S.A.**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS  
AMBIENTALES



**PROYECTO MINA DE COBRE PANAMÁ**

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EsIA)  
CATEGORÍA III**

*INFORME DEL PROGRAMA DE MONITOREO DE EFECTOS  
AMBIENTALES: ECOSISTEMA MARINO COSTERO  
MONITOREO DE MARZO 2024*

*Fase de Preservación y Gestion Segura*

| Compromisos de EsIA Aplicables | Periodo reportado | Elaborado por         | Fecha de Emisión del Reporte |
|--------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------------|
| 13107<br>13217<br>13234        | Marzo 2024        | PFR ENVIRONMENTAL, SA | 23-08-2024                   |

## PRESENTACIÓN

La empresa MINERA PANAMÁ ha encargado a la consultora ambiental independiente PFR ENVIRONMENTAL, SA, el monitoreo de los ecosistemas marino-costeros en el mes de marzo de 2024 frente al puerto de Punta Rincón propiedad de Minera Panamá.

Ciudad de Panamá, 3 de mayo de 2024

| Rev. N° | Motivo modificación | Revisado           | Fecha entrega |
|---------|---------------------|--------------------|---------------|
| 1       | Edición original    | Licdo. Carlos Vega | 03-05-2024    |
| 2       | Edición revisada    | Licdo. Carlos Vega | 23-08-2024    |

**N° PEDIDO:** MINERA PANAMA 1824-603208

**AMBITO DE LA INSPECCION:** REGLAMENTARIO. NO SE HA OMITIDO NINGUN ASPECTO DEL AMBITO ORIGINAL DEL TRABAJO.

**IDENTIFICACION DEL ITEM INSPECCIONADO:** AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA DE MEDIO MARINO COSTERO.

**CONDICIONES GENERALES:** EL CONTENIDO DEL PRESENTE INFORME SE HA AJUSTADO A LO ESTABLECIDO EN LAS NORMA ISO/IEC 17020 Y/O ISO 9001. LOS ANALISIS QUÍMICOS DE AGUA, SEDIMENTO Y BIOTA LOS HA REALIZADO UN LABORATORIO EXTERNO ACREDITADO EN LA NORMA INTERNACIONAL UNE/EN/ISO 17025 CONTRATADO POR MINERA PANAMÁ. PFR ENVIRONMENTAL, SA NO SE HACE RESPONSABLE DE LOS RESULTADOS ANALÍTICOS EMITIDOS POR EL LABORATORIO EXTERNO CONTRATADO POR MINERA PANAMÁ. LA INSPECCION Y MUESTREO SE HA REALIZADO SEGÚN ESPECIFICACIONES RECOGIDAS EN LAS INSTRUCCIONES DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD (SGC) DE PFR ENVIRONMENTAL, SA, CON REGISTROS PRIMARIOS DE LAS MEDIDAS IN SITU INCLUIDOS EN EL CUADERNO DE CAMPO DEL EQUIPO.

- 1) El presente informe es copia fiel del original que mantiene PFR ENVIRONMENTAL, SA
- 2) Los resultados obtenidos sólo afectan a las muestras ensayadas.
- 3) El presente informe no debe ser reproducido ni total ni parcialmente sin la autorización expresa de MINERA PANAMÁ.

LOS RESULTADOS DEL PRESENTE INFORME SE REFIEREN EXCLUSIVAMENTE AL PEDIDO REALIZADO. TODAS LAS FOTOGRAFÍAS, CUADROS, FIGURAS, ETC DEL PRESENTE INFORME SON ORIGINALES Y SE CORRESPONDEN CON LAS FECHAS DE LOS MONITOREOS Y ESTÁN A DISPOSICIÓN DEL CLIENTE Y SUS AUTORIZADOS.

**DESIGNACION DEL DOCUMENTO:** ESTUDIO ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS INFORME MONITOREO MARZO 2024 230824

**IDENTIFICACION DE LA VERSIÓN DEL DOCUMENTO:** 230824

**NOTA SOBRE UNIDADES DE MEDIDA:** EN ABRIL DE 2007 SE APRUEBA EN PANAMÁ LA LEY 52 QUE ESTABLECE COMO SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES EL SISTEMA INTERNACIONAL (SIU). POR CONSIGUIENTE, TODAS LAS UNIDADES DE ESTE INFORME VIENEN REFERIDAS AL SIU.

## ÍNDICE

### RESUMEN EJECUTIVO

|      |                                                                            |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.   | <u>INTRODUCCIÓN</u> .....                                                  | 1  |
| 2.   | <u>OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA</u> .....                                   | 3  |
| 3.   | <u>METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS</u> .....                                   | 4  |
| 3.1. | Sitios de muestreo y actividades realizadas .....                          | 4  |
| 3.2. | Metodología para el estudio de la calidad del agua marina .....            | 7  |
| 3.3. | Metodología para el estudio de metales pesados en sedimentos y biota.....  | 7  |
| 3.4. | Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades de fondos duros) .....          | 8  |
| 3.5. | Monitoreo de biología marina (comunidades de fondos blandos y peces) ..... | 10 |
| 3.6. | Monitoreo de rompeolas .....                                               | 11 |
| 4.   | <u>RESULTADOS MARINO-COSTEROS</u> .....                                    | 14 |
| 4.1. | Calidad de aguas.....                                                      | 14 |
| 4.2. | Calidad de sedimentos .....                                                | 17 |
| 4.3. | Análisis de metales pesados en pez león .....                              | 19 |
| 4.4. | Hábitats de fondos duros .....                                             | 20 |
| 4.5. | Hábitats de fondos blandos .....                                           | 33 |
| 4.6. | Estudio de la comunidad de peces .....                                     | 38 |
| 5.   | <u>RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS</u> .....                          | 49 |
| 5.1. | Estudio de fondos duros .....                                              | 49 |
| 5.2. | Estudio de la comunidad de peces .....                                     | 52 |
| 6.   | <u>RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE</u> .....          | 55 |
| 7.   | <u>ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES</u> .....                           | 58 |
| 8.   | <u>ESTADO ECOLÓGICO</u> .....                                              | 62 |
| 8.1. | Justificación.....                                                         | 62 |
| 8.2. | Metodología.....                                                           | 62 |
| 8.3. | Resultados. Valoración del estado ecológico marino-costero .....           | 66 |
| 9.   | <u>CONCLUSIONES</u> .....                                                  | 69 |
| 10.  | <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....                                                  | 74 |

### ANEXO 1. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DEL SEDIMENTO

## RESUMEN EJECUTIVO

Para cumplir los compromisos del EsIA, correspondientes a la Fase de Preservación y Gestión Segura, los objetivos del presente Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM) se centran en monitorear la calidad del agua, sedimentos, hábitats de fondos duros y blandos y comunidades de peces con el fin de estudiar los posibles efectos de las actividades portuarias y de la mina en la zona marino-costera de Punta Rincón, aun que la termoeléctrica ha estado apagada desde noviembre de 2023.

Para cumplir con estos objetivos, se ha completado el monitoreo del año 2024 durante los días 19 al 22 de marzo de 2024 en la zona de Punta Rincón. Se emplearon los mismos seis (6) sitios de muestreo que en años anteriores (HB-R3 y HB-R33 representativo de zonas profundas lejanas y HB-R12, HB-R15, HB-R18 y HB-CE de zonas someras cercanas y referencia), además de cuatro (4) sitios: HB-T1 y HB-T2 próximos al muelle de descarga del puerto y HB-E-4 y HB-E-10 más alejados del puerto. Asimismo, se incluyeron los siete (7) sitios en el rompeolas (RO1 al RO7).

Para el estudio de la calidad del agua se realizaron mediciones de parámetros físico-químicos en toda la columna de agua y toma de muestras de agua marina a -1 m para el análisis de diferentes parámetros (físicos, nutrientes, metales pesados, etc). En las muestras de sedimentos se analizaron diferentes parámetros químicos (COT, metales pesados) y en la biota (mediante capturas directas de pez león) el contenido de metales pesados por un laboratorio externo contratado por MINERA PANAMÁ.

Los estudios submarinos de las comunidades de fondos duros y peces fueron realizados por buceadores profesionales equipados con cámaras fotográficas y vídeo submarino, siguiendo el método de transectos lineales y el uso de cuadrantes. Para el estudio de los fondos blandos, se tomaron muestras de sedimento con buceadores y dragas. En el rompeolas se realizaron los mismos muestreos que en fondos duros y comunidades de peces.

Se ha empleado los valores de referencia o guía de los parámetros de calidad de aguas (físico-químicos) establecidos en la normativa vigente en Panamá (Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008), así como normativa específica de referencia para niveles de metales pesados en sedimentos y peces en Canadá y la Unión Europea.

Los ensayos físico-químicos medidos *in situ* y en el laboratorio han presentado valores de las aguas marino-costeras no afectadas por contaminación, con concentraciones dentro de rangos normales para el mar Caribe, cumpliéndose con los límites que establece la norma de Panamá (Decreto Ejecutivo N° 75). Por consiguiente, no se aprecia contaminación del agua de mar en el entorno del puerto o de la mina.

La composición granulométrica del sedimento es relativamente homogénea entre los diferentes sitios, predominando las arenas finas a medias, sin diferencias significativas entre las muestras.

Las concentraciones de

se han mantenido en todos los sitios por debajo del valor guía (41,6 mg/kg) y superiores al valor de efectos globales (7,24 mg/kg) de la norma canadiense de referencia. Las concentraciones de cobre solo han superado el valor de efectos globales (18,7 mg/kg) en los sitios HB-R12 (20,3 mg/kg) y HB-T1 (24,5 mg/kg), estando por debajo del valor guía (108 mg/kg) en el resto de sitios. Las concentraciones del resto de metales pesados en sedimentos han estado en todos los sitios de monitoreo por debajo de los valores guía, con concentraciones por debajo de los límites de cuantificación para cadmio ( $<0,1$  mg/kg) y plomo ( $<3$  mg/kg).

Cabe destacar, que estos valores guía y de efectos globales de la norma canadienses se han tomado en el presente trabajo como valores de referencia, al no disponer Panamá de legislación al respecto. Estos valores están asociados con unos efectos probables en la biota propia de las aguas frías de Canadá, sin relación probada con los efectos en la biota de las aguas subtropicales de la costa panameña del Caribe.

Las concentraciones de metales pesados en tejidos del pez león han estado por debajo de los límites europeos utilizados como referencia en todos los sitios de muestreo

Los porcentajes de cobertura de las diferentes formas biológicas de los hábitats de fondos duros (corales, esponjas, algas, etc) son semejantes a los registrados en años anteriores y sin cambios destacables con respecto al monitoreo considerado como línea base. Predominan el grupo de esponjas y una alta diversidad de corales, con comunidades más biodiversas en los fondos profundos.

Los fondos blandos presentan comunidades infaunales no alteradas y con una composición de especies variable. Se ha encontrado mayor abundancia y riqueza de especies en HB-R18 y HB-15, seguidos de un amplio grupo de estaciones (HB-T1, HB-E-10, HB-T2, HB-CE y HB-E-4) con menor densidad y riqueza de especies, ya que se corresponden con las zonas intermedias o someras en profundidad. Los sitios más profundos (HB-R3 y HB-R33) presentan una composición de especies muy similar y moderadas densidades.

La comunidad íctica presenta una estructura y composición típica de las aguas costeras del Caribe (BOHLKE, et al 1993, BUSSING, 1987 y BUSSING, W.A. 1998). En los fondos duros profundos presentó una menor densidad y riqueza de especies de peces, mientras que en los fondos duros someros se registraron mayores densidades y riqueza de especies. En los sitios HB-T1 y HB-T2 próximo al puerto se registraron muy pocos individuos de peces y especies, debido a que no reúne hábitats apropiados para la fauna íctica. La abundancia relativa del pez león fue de 5-10% para el fondo somero y de 10% para el fondo profundo, con una tendencia a su estabilización poblacional en la zona.

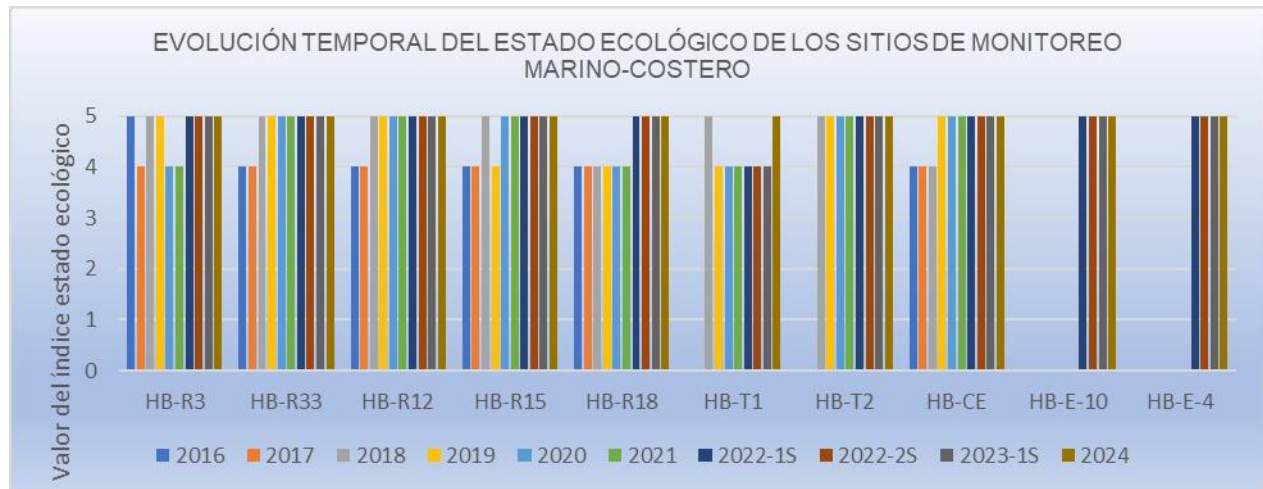
El seguimiento del rompeolas muestra una lenta, pero progresiva colonización por grupos biológicos (colonias de corales y esponjas) en su parte interna que parece se va afianzando con el tiempo, y presenta un número significativo de peces con una clara diferencia entre los valores de abundancia (densidad) y los índices de diversidad de la parte externa con respecto a la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transectos no expuestos a mar abierto y situados en el interior del rompeolas.

Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo (24-29 ind/m<sup>3</sup> para larvas y 30-35 ind/m<sup>3</sup> para huevos), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m<sup>3</sup> para huevos y de 30-50 ind/m<sup>3</sup>

para larvas en el Caribe. La composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros.

En relación con los objetivos del estudio, se concluye que la tendencia de los indicadores estudiados en este monitoreo y en los años anteriores, no ha mostrado variaciones significativas con respecto a la línea base. En este sentido, no se aprecia una tendencia a desmejorar el estado de salud de los ecosistemas marino-costeros asociados con las actividades de Cuido y mantenimiento ejecutados en esta etapa. Por consiguiente, los mecanismos de control establecidos están siendo efectivos para la protección del medio marino-costero en Punta Rincón.

Para complementar el análisis de tendencias de los indicadores, se ha evaluado el estado ecológico del medio marino-costero, integrando los elementos físico-químicos y biológicos, que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han producido cambios temporales en su estructura o funcionamiento. En la figura adjunta se resume la evolución temporal para el período 2016-2024 de este indicador.



*Evolución del estado ecológico de los sitios de monitoreo*  
(Valores del índice de estado ecológico: 1= malo; 2= deficiente; 3= moderado; 4= bueno y 5= muy bueno)

A la vista de la evolución temporal del estado ecológico de las aguas marino-costeras, se destaca que durante todos los años se ha clasificado el estado ecológico en el entorno del puerto y mina en Punta Rincón como BUENO a MUY BUENO.

## 1. INTRODUCCIÓN

Minera Panamá S.A. está desarrollando el proyecto Mina de Cobre Panamá en el distrito de Donoso, provincia de Colón, situado en el sector central-norte de Panamá. El Proyecto excava y procesa mineral de sulfuro de cobre que ha sido definido en una concesión de 13.000 ha que está ubicada a 120 km al oeste de la Ciudad de Panamá y a 20 km de la costa del mar del Caribe. El proyecto incluye, además, instalaciones portuarias en Punta Rincón, que permiten la carga de concentrado y la descarga de carbón asociado con el funcionamiento de la termoeléctrica de 300 MW.



Plano 1. Ubicación del proyecto de Minera Panamá.

Estas actividades tienen el potencial de impactar los aspectos biológicos y físico-químicos del medio ambiente acuático marino-costero y, por lo tanto, se necesita un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de las medidas de control y mitigación.

En el presente Informe se describen la metodología y resultados obtenidos en el monitoreo de los ecosistemas marino-costeros frente al puerto de la mina en Punta Rincón completado los días 19 al 22 de marzo de 2024, como parte del Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costeros.



Los capítulos principales que contiene el informe son los siguientes:

- Metodología de los trabajos, con una descripción detallada de las metodologías seguidas en los muestreos y análisis físico-químicos –en agua y sedimentos-, biológicos (muestreos de bentos en fondos duros y blandos y estudio de peces) y análisis de metales pesados en agua, sedimento y biota (peces).
- Resultados obtenidos para cada elemento ambiental estudiado, con especial referencia a los indicadores ambientales y su estado de calidad, ya que son los que permitirán seguir la evolución y la tendencia de la calidad y estado ecológico a lo largo del período de actividad de la mina.
- Un análisis de tendencias de los indicadores ambientales, teniendo en cuenta los estudios completados en los últimos monitoreos.



*Monitoreos marino-costeros en Punta Rincón durante el mes de marzo de 2024.*



## 2. OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

El objetivo principal de la presente consultoría es continuar con el Plan de Monitoreo de Ecosistemas Marino-Costero, mediante un Programa de Monitoreo de Efectos Ambientales (EEM por sus siglas en inglés) dirigido a asegurar que los controles ambientales para el ecosistema marino-costero (calidad de agua, sedimentos, fondo duro y biología marina), mantengan medidas de mitigación que sean efectivas para la protección y viabilidad de estos ecosistemas en la zona de influencia directa del Proyecto Mina de Cobre Panamá.

Como objetivos específicos se destacan:

- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de la calidad de los sedimentos.
- Asegurar que los procedimientos de manejo son efectivos para limitar los cambios en los sedimentos producto de la sedimentación y otros impactos (por ejemplo, derrames de carbón y concentrado).
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de los impactos sobre el componente biológico durante la Etapa de Cuido y Mantenimiento.
- Monitorear las condiciones estuarinas para evaluar los impactos de la construcción de la mina (por ejemplo, calidad sedimentos y características físicas).
- Evaluación de la efectividad de los controles ambientales durante las actividades de Cuido y Mantenimiento, específicamente alrededor de la desembocadura de las aguas de refrigeración de la planta de energía y alrededor de las instalaciones portuarias, a través del monitoreo de las condiciones químicas, biológicas y físicas.
- Monitoreo y acciones correctivas para evitar mortalidad de la fauna.
- Cumplir con los compromisos EsIA para el monitoreo de hábitat crítico, especialmente el sustrato del hábitat de fondo duro, dentro y alrededor de la huella del proyecto.
- Evaluar si los mecanismos de control establecidos (por ejemplo, el control de sedimentos y operacionales) son efectivos para la protección del hábitat de fondo duro cercano a las instalaciones.
- Apoyar la actualización de los inventarios biológicos dentro del área del proyecto especificados por los compromisos del EsIA (deben actualizarse cada 5 años).

De esta forma, se ha continuado con la aplicación de los índices e indicadores ambientales establecidos en el Plan de Monitoreo Ambiental, con el fin de conocer cómo evolucionan en el tiempo y su grado de afectación por las actividades en el puerto de la mina.

De forma adicional, durante este monitoreo se ha planteado como objetivo colateral –iniciado en el año 2015 con la línea base– la valoración del estado ecológico del medio marino-costero, teniendo en cuenta diferentes indicadores de la calidad biológica y físico-química de aguas y sedimentos marinos.

### 3. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

#### 3.1. Sitios de muestreo y actividades realizadas

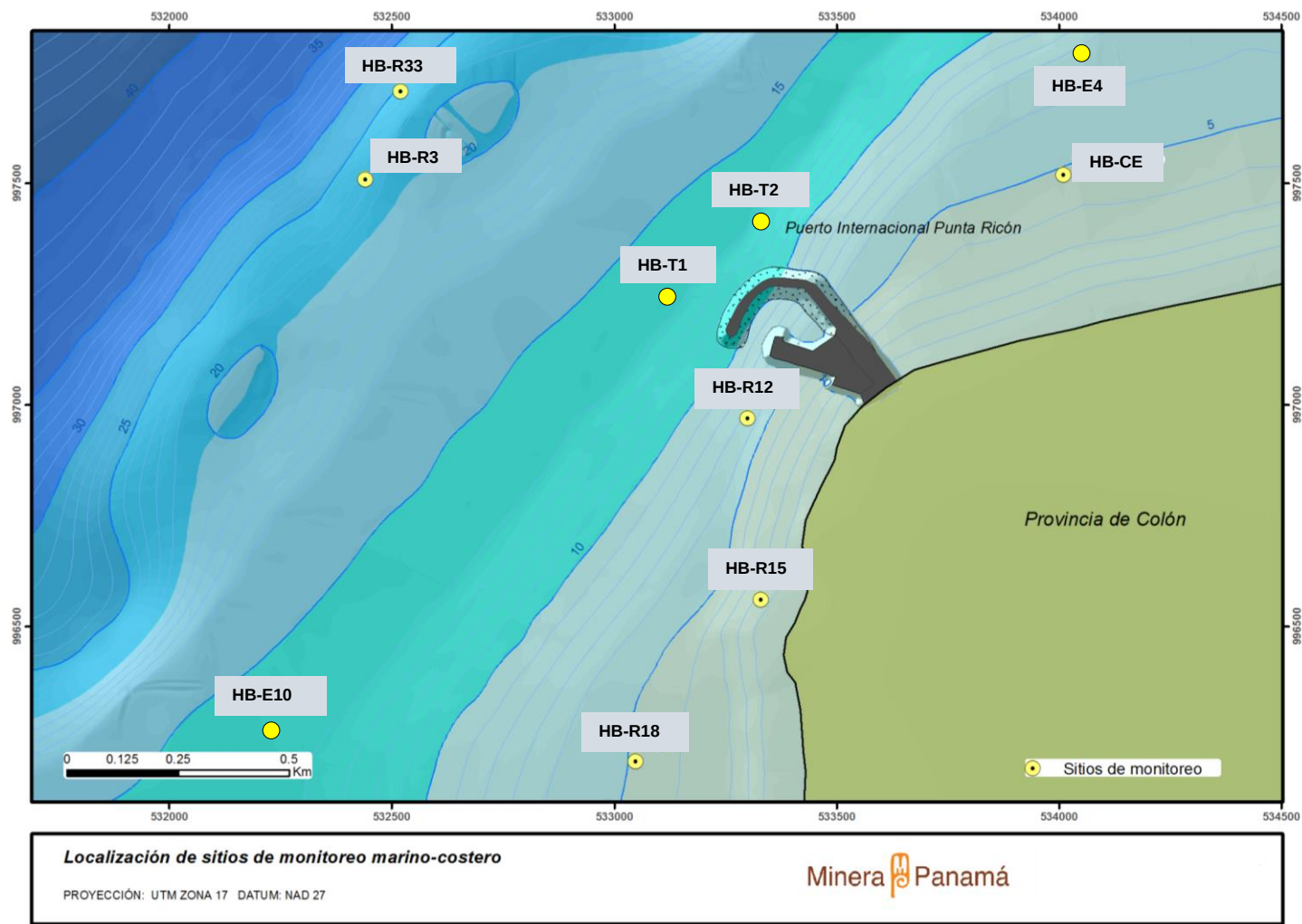
Durante los días 19 al 22 de marzo de 2024 se realizaron los monitoreos en los siguientes diez (10) sitios de monitoreo (ver **Cuadro 1**).

| CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO |                       |                                     |                         |        |
|------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------|
| CÓDIGO SITIO DE MONITOREO                            | TIPO DE PUNTO         | TIPO DE FONDO                       | COORDENADAS GEOGRÁFICAS |        |
|                                                      |                       |                                     | ESTE                    | NORTE  |
| HB-R3                                                | PML                   | Fondo duro-blando profundo          | 532441                  | 997509 |
| HB-R33                                               | PML                   | Fondo duro-blando profundo          | 532520                  | 997707 |
| HB-CE                                                | PMC                   | Fondo blando somero en Caimito Este | 534011                  | 997519 |
| HB-R12                                               | PMC                   | Fondo duro-blando somero            | 533301                  | 996970 |
| HB-R15                                               | REF                   | Fondo duro-blando somero            | 533331                  | 996560 |
| HB-R18                                               | REF                   | Fondo duro-blando somero            | 533049                  | 996196 |
| HB-T1                                                | Control para terminal | Fondo blando                        | 533227                  | 997336 |
| HB-T2                                                | Control para terminal | Fondo blando                        | 533383                  | 997571 |
| HB-E4                                                | PMC                   | Fondo blando                        | 534871                  | 997981 |
| HB-E10                                               | REF                   | Fondo blando                        | 532295                  | 995729 |

PML: Punto de Monitoreo Lejano; PMC: Punto de Monitoreo Cercano; REF: Punto de Referencia. El término “Punto de Monitoreo Cercano o PMC” se refiere a las ubicaciones de muestreo que están lo más cerca posible a las instalaciones, pero fuera de cualquier zona inicial mixta; la zona inicial mixta es el área donde las descargas provenientes del sitio (por ejemplo, las descargas de agua de refrigeración de la planta de energía) se mezclan por completo con el ambiente marino receptor. Los “Puntos de Monitoreo Lejano o PML” se deben ubicar en lugares que se crean que definen el espacio de cualquier efecto potencial observado en el PMC. Los “Puntos de Monitoreo de Referencia o REF”, deben estar cerca del área, pero fuera de cualquier cambio potencial debido a las actividades es del Proyecto.

En el **Plano 2** se muestran las ubicaciones de los sitios de muestreo utilizados. Para su ubicación, se ha generado un Modelo Digital del Terreno (MDT) a partir de la información cartográfica y batimétrica disponible, sobre el que se ha georeferenciado cada sitio de muestreo con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en soporte ARCGIS en su última versión.

Con fecha de 31 de marzo de 2024, y una vez completada la campaña de monitoreo, se envió un informe previo con los resultados preliminares obtenidos en el monitoreo (a falta obviamente de los análisis en laboratorio, tanto de muestras de agua, sedimentos y biota), con la identificación de posibles problemas ambientales con el fin de tomar las medidas oportunas de una forma rápida y eficaz. De este informe, se destaca que no se identificaron incidencias ambientales en el medio marino-costero que necesitaran tomar medidas de protección adicionales a las que se vienen aplicando.



Plano 2. Localización de los sitios de monitoreo para el estudio marino-costero.

De forma particular, en cada sitio de monitoreo las actividades desarrolladas se resumen en el **Cuadro 2**.

| CUADRO 2. ACTIVIDADES REALIZADAS EN CADA SITIO DE MONITOREO |                                      |                                  |                                    |                  |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------|
| CÓDIGO SITIO                                                | CALIDAD DE AGUAS, SEDIMENTOS Y BIOTA | ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS DUROS | ESTUDIO COMUNIDADES FONDOS BLANDOS | ESTUDIO DE PECES |
| HB-R3                                                       | SI                                   | SI                               | SI                                 | SI               |
| HB-R33                                                      | SI                                   | SI                               | SI                                 | SI               |
| HB-CE                                                       | SI (excepto peces)                   | NO                               | SI                                 | NO               |
| HB-R12                                                      | SI                                   | SI                               | SI                                 | SI               |
| HB-R15                                                      | SI                                   | SI                               | SI                                 | SI               |
| HB-R18                                                      | SI                                   | SI                               | SI                                 | SI               |
| HB-T1                                                       | SI                                   | SI                               | SI                                 | SI               |
| HB-T2                                                       | SI                                   | SI                               | SI                                 | SI               |
| HB-E4                                                       | SI                                   | NO                               | NO                                 | NO               |
| HB-E10                                                      | SI                                   | NO                               | NO                                 | NO               |

El estudio de la calidad del agua incluyó mediciones de parámetros físico-químicos en toda la columna de agua y toma de muestras de agua marina a -1 m para la realización de diferentes parámetros (físicos, nutrientes, metales pesados, etc). En las muestras de sedimentos se analizó su granulometría y diferentes parámetros químicos (COT, metales pesados) y en la biota (mediante capturas directas de pez león) el contenido de metales pesados.

Para el estudio de las comunidades de fondos duros se emplearon buceadores profesionales (equipados con cámaras fotográficas y de vídeo submarino), que en diferentes transectos lineales establecidos en cada sitio -y sobre la base de datos tomados con cuadrantes- se determinó, entre otros, la cobertura de corales y otros organismos. Por su parte, para el estudio de los fondos blandos, se tomaron muestras de sedimento con buceadores y dragas y se completó el estudio del bentos marino. El estudio de peces se realizó con apoyo de buceadores profesionales y siguiendo el método del transecto en cada sitio de muestreo.

El conjunto de los muestreos fue llevado a cabo por un equipo de cuatro técnicos cualificados, más el patrón del bote, siguiendo los procedimientos estipulados en los TdR de la consultoría. Para optimizar el trabajo, las tareas fueron divididas entre los técnicos, realizando dos de ellos (con títulos de buceadores profesionales) el muestreo de elementos biológicos submarinos y los otros dos la caracterización de calidad de aguas y muestreos de sedimentos. Se contó con un paramédico y buceador de apoyo en todos los muestreos realizados.

En todo momento se tuvo el inestimable apoyo y medios (personal, instalaciones, embarcación, etc) de MINERA PANAMÁ y, en especial a la Licda. Blanca Arauz, a la que se traslada todo el agradecimiento y consideración por las facilidades prestadas durante el monitoreo.

### 3.2. Metodología para el estudio de la calidad del agua marina

Durante la realización de la campaña, se llevaron a cabo medidas con equipos y sondas multiparamétricas de los siguientes parámetros físico-químicos de calidad de agua marina:

- Temperatura del agua (°C).
- pH (en unidades pH).
- Oxígeno disuelto (mg/L y % saturación).
- Sólidos totales disueltos, STD (g/L).
- Turbidez (NTU).
- Salinidad (ppt).

Asimismo, en cada sitio de muestreo se tomaron por muestras de agua marina con una botella Van Dorn a -1 m de profundidad que fueron entregadas al personal de MINERA PANAMA para analizar los siguientes parámetros en agua en el laboratorio acreditado en la Norma UNE-EN-ISO 17025 contratado de forma externa por MINERA PANAMÁ:

- Físicos: total de sólidos disueltos (STD) y total de sólidos en suspensión (TSS).
- Biológicos: DBO<sub>5</sub> y COD.
- Nutrientes: nitrato, nitrito, nitrógeno amoniacal y amoníaco, total de nitrógeno y fósforo.
- Iones comunes (aniones): cloruro, bromuro, sulfuro y sulfatos.
- Orgánicos: aceites y grasas.
- Cianuro total, libre y wad y metales totales y disueltos: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V y Zn.
- Hidrocarburos totales de petróleo.

### 3.3. Metodología para el estudio de metales pesados en sedimentos y biota

Igualmente, se tomaron muestras de sedimento con buceadores en los sitios de muestreo indicados en el **Cuadro 1**, para el análisis de los siguientes parámetros: composición granulométrica, carbono orgánico total (COT), cianuro total, hidrocarburos totales de petróleo, aceites y grasas y metales (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V y Zn) en laboratorio externo contratado por MINERA PANAMÁ.

Las muestras de sedimentos se recogieron con una pala de teflón por los propios buceadores o con una draga tipo Eckman solo en los sitios HB-E4, HB-E10 y HB-CE. Las muestras recogidas se conservaron en recipientes de plástico y vidrio (según analito) correctamente identificados y almacenadas en neveras refrigeradas hasta su entrega al personal de MINERA PANAMÁ al llegar a puerto.

Asimismo, para el estudio de metales pesados en peces, se ha llevado a cabo el muestreo por personal de PFR ENVIRONMENTAL, SA de pez león (*Pterois antennata*)<sup>1</sup>, Para ello, se utilizó en las pescas submarinas un rifle-arpón recubierto de teflón.

Las muestras de pez león se lavaron previamente con agua desionizada. En los peces, se extrajeron los tejidos musculares por encima de la línea lateral y a nivel del inicio de la aleta dorsal del pez completo, utilizando un cuchillo limpio de teflón. Con los tejidos extraídos se formaron un pool de 3 organismos. Los cortes se introdujeron en bolsas de polietileno y se congelaron a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su entrega a personal de MINERA PANAMÁ al llegar a puerto para su envío al laboratorio externo.



*Ejemplares de pez león recolectados para la toma de muestras de tejidos para la realización de los análisis.*

### 3.4. Monitoreo de hábitats rocosos (comunidades de fondos duros)

Dentro de las métricas a analizar en los hábitats de fondos rocosos-duros se incluyen:

- Porcentaje de cobertura de los organismos vivos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el sustrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Uso observado del sustrato por parte de los peces y otros organismos móviles.

---

<sup>1</sup> Se ha utilizado ejemplares de pez león, ya que se encuentra en niveles tróficos elevados con una dieta carnívora (peces, camarones y otros crustáceos, etc), presenta una amplia distribución en la zona y con su captura se ha contribuido a mermar sus poblaciones invasoras en el área, sin dañar a otras especies.

---



En cada sitio de monitoreo somero y profundo definido anteriormente, se estableció un transecto lineal fijo paralelo a la costa, excepto en HB-R3 y HB-R33 que fueron perpendiculares a la costa. Para delimitar dicho transecto, se utilizaron en el año 2015 varillas de hierro, las cuales fueron enterradas al inicio y fin de cada transecto, como marca permanente para éste y los futuros eventos de monitoreo en estos puntos<sup>2</sup>. Asimismo, se localizaban estas varillas y una vez identificado y establecido el transecto, se ha cuantificado cada 5 m mediante una cuadrata de 1 m<sup>2</sup> sujeto por una base, el porcentaje de cobertura (por m<sup>2</sup>) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados.

Igualmente, se han tomado secuencias de fotos por cada cuadrata, que servirán para la evaluación de las tendencias con el paso del tiempo en estas ubicaciones y para verificar en el laboratorio el uso del sustrato por parte de peces y otros organismos móviles. Para la movilización del personal y el equipo de trabajo, se utilizó un bote de fibra de vidrio de 25 pies de largo con motor fuera de borda de 60 hp facilitado por MINERA PANAMÁ. Los datos fueron recolectados a través de buceos de diferente duración realizados por un equipo de dos buzos profesionales con equipo de buceo autónomo y apoyo de un tercer buzo-paramédico desde la embarcación, con la observación de un buceador en superficie con snorkel.

Para la clasificación e identificación de los organismos se utilizaron las guías de identificación de Humann (2006) sobre corales, peces y creaturas arrecifales; en los libros de Veron (2000) para identificación y listado de especies corales pétreos; para la Identificación de corales blandos en campo, en la guía de Humann (2006), en la guía publicada por la Universidad de Warwick (2007) para la identificación visual de este grupo, otras guías STRI Bocas Data Base (2012) y Collin et al. (2005), para invertebrados. Asimismo, para complementar la clasificación y determinación de los organismos, se han utilizado diferentes bases de datos globales, como el Registro Mundial de Especies Marinas (World Register of Marine Species WoRMS).

Para el cálculo de la cobertura (en% del área ocupada por cada grupo) a partir de las imágenes de los cuadrantes tomadas por el buceador, se utilizó el programa CPCE (Coral Point Count con extensiones de Excel), que es un software basado en Windows (solo para PC). Un número especificado de puntos espacialmente aleatorios se distribuyen en cada imagen y las características subyacentes a los puntos son identificados por el usuario. Los análisis y clasificación de las imágenes fueron llevadas a cabo por zoólogos marinos de amplia experiencia en estudios similares en el mar Caribe de Panamá, apoyados en algunos casos por especialistas en cada uno de los grupos estudiados.

---

<sup>2</sup> Durante estos años, se ha tenido que ir reponiendo estas varillas, ya que se han ido perdiendo debido al efecto del desgaste y el oleaje.

---

### 3.5. Monitoreo de biología marina (comunidades de fondos blandos y peces)

El monitoreo de biología marina ha constado de:

- Monitoreo de la calidad del agua (química del agua), el cual se realizará durante el monitoreo marino (ver el punto anterior).
- Monitoreo de la calidad y estructura de los sedimentos, el cual una parte (química de los sedimentos) se realizará como parte del monitoreo marino y el tamaño de las fracciones del sedimento (ver el punto anterior).
- Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos (bentos marinos) en fondos blandos.
- Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león. Monitoreo de las concentraciones de metales en el tejido de este pez.

#### A) Evaluación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos

En los sitios de muestreo, se ha procedido a tomar 3 muestras de fondos blandos, utilizando una draga tipo Eckman de 0,0225 m<sup>2</sup> de área de apertura o mediante la ayuda de buceadores en una superficie aproximada de 0,045 m<sup>2</sup> y 5-10 cm de profundidad de sedimento. Las muestras se rotularon y posteriormente fueron tamizadas en un tamiz de 500 micras de tamaño de malla, para eliminar el sedimento y retener los organismos bentónicos. Los organismos se almacenaron en frascos plásticos debidamente etiquetados con la información de la colecta y fijados con alcohol al 95% para su análisis en laboratorio.

Para el análisis de las muestras, se empleó un estereoscopio y se utilizaron claves de identificación para diversos grupos taxonómicos como la de Fauchald, 1977; Salazar-Vallejos, 1991 y Liñeros, 1997 para los poliquetos; Abbott, 1954; Keen, 1971 para los moluscos; Rodríguez, 1980 para los crustáceos, con apoyo del Registro Mundial de Especies Marinas (WoRMS). La identificación se realizó de manera que se pudiera determinar hasta el menor taxón posible. Los datos se estandarizaron por categorías de valores referidos a 1 m<sup>2</sup>. Adicionalmente, se ha obtenido la información sobre densidad (nº individuos/m<sup>2</sup>) y el número de individuos por especie, así como de parámetros poblacionales.

#### B) Evaluación de la estructura de los peces, al igual que la presencia y densidad estimada del pez león

Para la estima y censo de las poblaciones de peces, se ha seguido el método de censo visual de transecto de banda, al ser uno de los protocolos más utilizados para la evaluación de la riqueza, densidad y biomasa de peces arrecifales (Brock 1982).

Con este método, el buzo nada en línea recta siguiendo la cinta métrica de 50 m de longitud situada en el fondo, con una anchura de observación variable en función de la visibilidad de cada sitio. En ese tiempo se realiza las estimaciones de riqueza de especies, mientras otro buzo nada de forma errante cerca de la zona en donde se encuentra fijado el transecto y un tercero nada en superficie (con snorkel y en sitios someros), obteniendo información adicional sobre presencia de peces de interés económico o ecológico (entre ellas, observaciones del pez león).

Con la ayuda de una tablilla, los buzos anotaron sus observaciones; asimismo, se utilizaron cámaras submarinas de fotos y video para complementar la información obtenida con los recorridos visuales. Se estimó la densidad (D) de cada especie según la siguiente expresión:

$$D=P*(n/L*W))$$

siendo n el número de peces, L la longitud del transecto (50 m), W la anchura de conteo (5 m a cada lado de la cinta, es decir 10 m) y P la probabilidad de detección (0,8), tabulando los resultados en clases y referido a ind/10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>.

### 3.6. Monitoreo de rompeolas

Durante el presente estudio, se ha continuado con los muestreos en el rompeolas del puerto de Punta Rincón iniciados en el monitoreo del año 2016, como parte de un estudio específico para valorar estas nuevas áreas como hábitats artificiales.

Para ello, se seleccionaron siete (7) sitios de muestreo o transectos de control (RO1 a RO7), situados en la parte externa e interna del rompeolas y distribuidos de forma representativa en toda su longitud.

En el **Cuadro 3** se incluyen las principales características de los sitios de monitoreo en el rompeolas y actividades realizadas y en el **Plano 3** se localizan estos sitios y transectos en el rompeolas.

| CUADRO 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE MONITOREO EN EL ROMPEOLAS |                   |                              |                         |        |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------|--------|
| CÓDIGO SITIO DE MONITOREO                                            | ZONA ROMPEOLAS    | ACTIVIDADES REALIZADAS       | COORDENADAS GEOGRÁFICAS |        |
|                                                                      |                   |                              | ESTE                    | NORTE  |
| RO1                                                                  | Externa           | Estudio fondos duros y peces | 533234                  | 997207 |
| RO2                                                                  | Externa           | Estudio fondos duros y peces | 533316                  | 997312 |
| RO3                                                                  | Externa           | Estudio fondos duros, peces  | 533476                  | 997298 |
| RO4                                                                  | Interna           | Estudio fondos duros y peces | 53480                   | 997310 |
| RO5                                                                  | Interna           | Estudio fondos duros y peces | 533315                  | 997181 |
| RO6                                                                  | Interna           | Estudio fondos duros y peces | 533365                  | 997232 |
| RO7                                                                  | Extremo rompeolas | Estudio fondos duros y peces | 533371                  | 997244 |

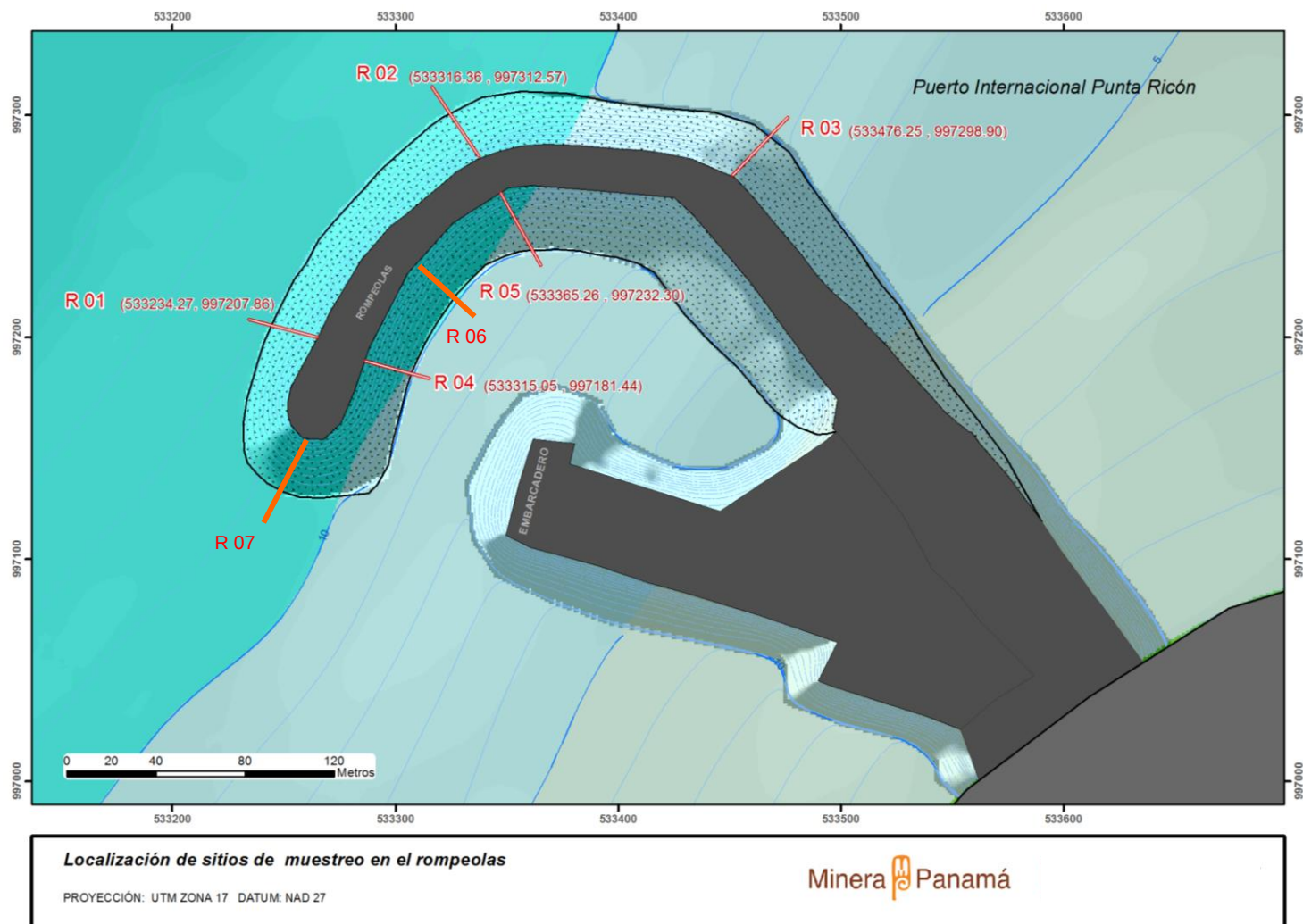
Se realizaron los mismos muestreos que en fondos duros y comunidades de peces, con la misma metodología descrita en el apartado anterior, centrando los trabajos en la determinación de las siguientes variables:

- Porcentaje de cobertura de los organismos del arrecife, incluyendo la cobertura del coral y la densidad de las colonias coralinas.
- Tipos y diversidad de los organismos del arrecife en el sustrato.
- Porcentaje de la cobertura por algas.
- Composición y abundancia de peces.

Al igual que en el muestreo biológico en fondos duros, se ha cuantificado -utilizando una cuadrata de 1 m<sup>2</sup> el porcentaje de cobertura (%) de algas, algas incrustantes, corales, octocorales, esponjas e invertebrados, así como fotografía y vídeo submarino de cada sitio de muestreo.



*Muestreo de rompeolas con apoyo de cuadrata provista de cámara de fotos y video, con focos submarinos led de alta potencia.*



Plano 3. Localización de los sitios de monitoreo y transectos en el rompeolas.



## 4. RESULTADOS MARINO-COSTEROS

### 4.1. Calidad de aguas

#### 4.1.1. Condiciones de los muestreos y medidas in situ

Los resultados de las medidas *in situ* de los parámetros físico-químicos a -1 m y las condiciones ambientales en las que se efectuaron los muestreos se incluyen en el **Cuadro 4**.

| CUADRO 4. MEDIDAS IN SITU DE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN AGUA DE MAR (-1 m) |                   |     |                 |        |            |         |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----|-----------------|--------|------------|---------|----------|
| SITIO                                                                             | FECHA DE MUESTREO | pH  | TURBIEDAD (NTU) | T (°C) | SAL. (PSU) | OD mg/L | OD %Sat. |
| HB-R3                                                                             | 21-03-2024        | 8,3 | 0,3             | 28,2   | 42,2       | 6,1     | 101,3    |
| HB-R33                                                                            | 20-03-2024        | 8,3 | 0,2             | 28,2   | 42,4       | 6,3     | 102,1    |
| HB-CE                                                                             | 22-03-2024        | 8,4 | 1,1             | 28,3   | 42,1       | 6,2     | 101,4    |
| HB-R12                                                                            | 20-03-2024        | 8,4 | 0,3             | 28,3   | 42,3       | 6,1     | 101,2    |
| HB-R15                                                                            | 20-03-2024        | 8,3 | 0,2             | 28,1   | 43,1       | 6,2     | 101,2    |
| HB-R18                                                                            | 21-03-2024        | 8,4 | 0,2             | 28,3   | 42,2       | 6,1     | 101,1    |
| HB-T1                                                                             | 21-03-2024        | 8,4 | 0,3             | 28,3   | 42,4       | 6,2     | 101,2    |
| HB-T2                                                                             | 21-03-2024        | 8,3 | 0,3             | 28,2   | 42,1       | 6,1     | 101,2    |
| HB-E4                                                                             | 22-03-2024        | 8,3 | 0,3             | 28,2   | 42,1       | 6,1     | 101,1    |
| HB-E10                                                                            | 22-03-2024        | 8,3 | 0,4             | 28,3   | 42,3       | 6,2     | 101,3    |

Los monitoreos se han realizado con excelentes condiciones climatológicas, ausencia de olas y ligero viento de componente Norte. La transparencia del agua con el disco de Secchi ha alcanzado el fondo de cada sitio, con valores superiores a los 20 m de profundidad.

Los parámetros físico-químicos de calidad de agua medidos in situ en los sitios monitoreados no ha presentado cambios con respecto a otros monitoreos, manteniendo el agua de mar unas condiciones de oxigenación, salinidad y temperatura propios de la época estudiada. La turbiedad ha sido muy baja e inferior en todos los sitios a 1 NTU. Se concluye que en ningún sitio se incumplen los límites para temperatura (variaciones superiores a 3°C de las condiciones naturales que indica el Decreto Ejecutivo N° 75), pH (6,5-8,5 unidades pH), turbiedad (50-100 NTU) y oxígeno disuelto (6-7 mg/L) de los límites del Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008.

En los **Gráficos 1 y 2** se ha representado la evolución temporal (2016-2024) de los principales parámetros de calidad (oxígeno disuelto y turbiedad) en los diferentes sitios de monitoreo. De estas gráficas se destaca los mayores valores de turbidez registrados en la estación HB-CE, que están influenciados por el río Caimito, el cual aporta sólidos disueltos y en suspensión de origen natural que aumenta la turbidez del agua en la zona de la desembocadura en el mar.



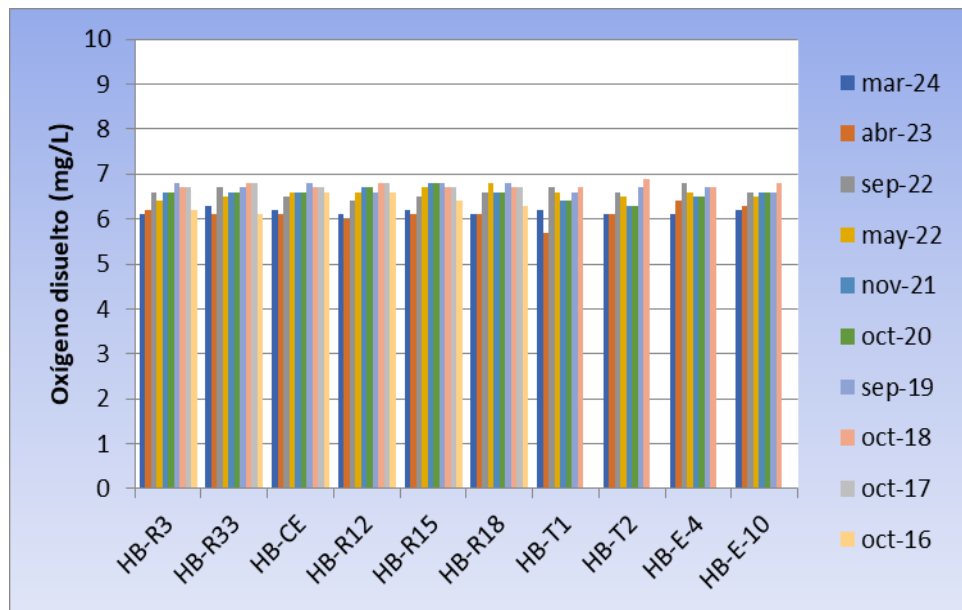


Gráfico 1. Evolución temporal del oxígeno disuelto (mg(L) en los diferentes sitios de monitoreo (período octubre 2016-marzo 2024)

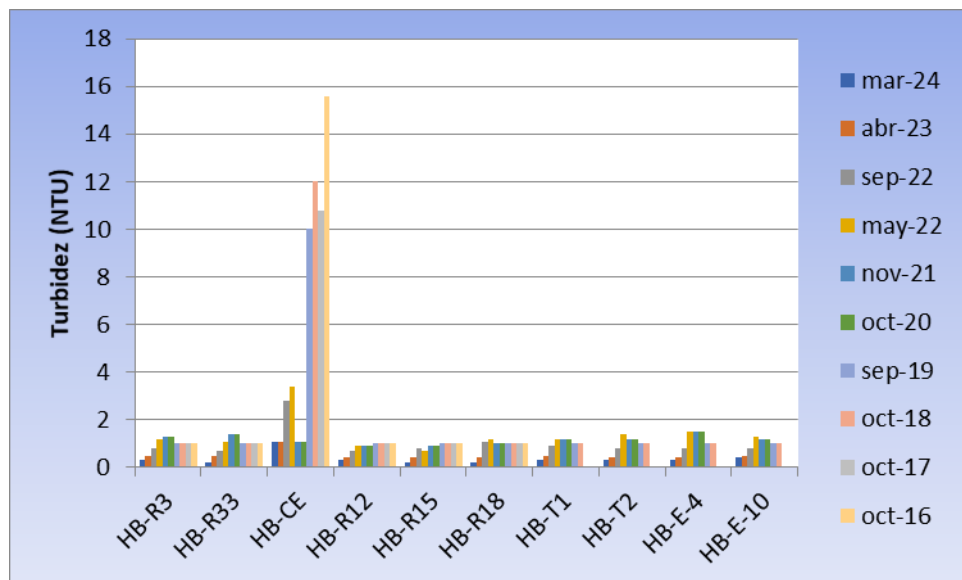


Gráfico 2. Evolución temporal de la turbidez (NTU) en los diferentes sitios de monitoreo (período octubre 2016-marzo 2024)

#### 4.1.2. Química del agua marina

En el **Anexo 1** se incluyen los Informes de Ensayo de los análisis del laboratorio externo contratado por Minera Panamá en agua marina. En relación a los resultados de calidad de aguas facilitados por Minera Panamá a este consultor, se destacan los siguientes puntos:

- Los ensayos físico-químicos han presentado valores de aguas marino-costeras no afectadas por las actividades de la mina o el puerto, con valores propios de condiciones normales del Caribe o por debajo del límite de detección.
- Destacan los análisis de metales pesados (disueltos o totales), nutrientes (fosfatos, fósforo total y series del nitrógeno) y otros compuestos (aceites y grasas, DBO5, DQO) que se han mantenido en valores muy bajos y también en muchos casos no han alcanzado valores correspondientes al límite de detección de los métodos analíticos empleados.
- Los hidrocarburos totales del petróleo han tenido valores por debajo del límite de detección (<0,002 mg/L), inclusive en las zonas más próximas al puerto.
- Por consiguiente, y teniendo en cuenta los resultados analíticos del laboratorio en agua de mar, no se aprecia contaminación del medio marino-costero asociado con las actividades del puerto o de la mina.



*Preparación de los equipos de buceadores para el monitoreo submarino.*

## 4.2. Calidad de sedimentos

### 4.2.1. Análisis granulométrico de sedimentos

Los resultados del análisis granulométrico se recogen en el **Anexo 2**. De estos resultados cabe destacar que los fondos blandos que componen los diferentes sitios de muestreo son relativamente homogéneos en su composición granulométrica y están compuestos de arenas medias a gruesas. No se ha registrado diferencias significativas entre las muestras y características del litoral en Punta Rincón. HB-CE se comporta ligeramente diferente al resto de sitios, con mayor predominio de la componente de 0.125 mm, debido a su proximidad a la desembocadura del río Caimito.

Por consiguiente, se puede concluir que no se aprecian efectos asociados con las actividades del puerto o de la Mina, debido al escaso porcentaje de arenas finas y limos presentes en los sedimentos de los sitios someros de HB-R12, HB-R15 y HB-R18 (más próximos a la costa y potencialmente influenciados) y los situados en áreas más profundas (HB-R3 y HB-R33). Los sitios HB-T1 y HB-T2 presentan una composición mayoritaria de arenas, al igual que HB-E4 y HB-E10, aunque con presencia de restos de hojas (que se eliminaron previamente para los análisis).

En el **Gráfico 3** se representan de forma porcentual (%) la distribución granulométrica en cada sitio muestreado.

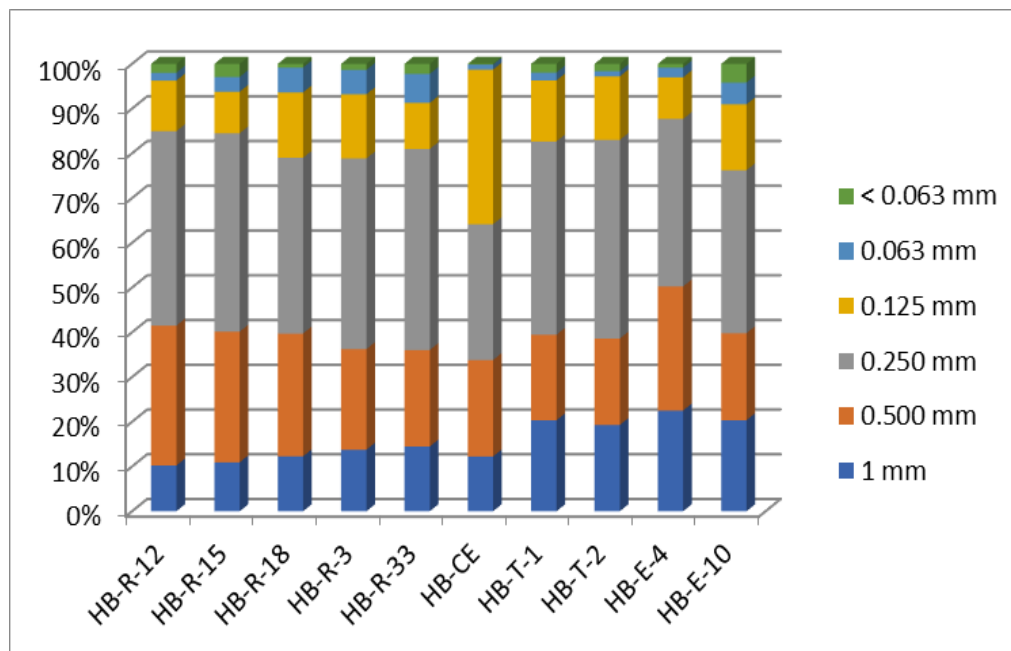


Gráfico 2. Distribución porcentual (%) de la composición granulométrica en los diferentes sitios de muestreo (gravas y arenas muy gruesas >2mm; arenas 0.06-2 mm; <0.06 mm arcillas y limos).

#### 4.2.2. Análisis en sedimentos

En el **Anexo 1** se recogen los resultados de los análisis en sedimentos, referido a mg/kg de materia seca (s.m.s.), realizado por laboratorio externo contratado por MINERA PANAMÁ.

De acuerdo a estos resultados, se destaca que el cianuro total se mantiene siempre por debajo del límite de detección (LD) de 0,25 mg/kg. Los Hidrocarburos Totales de Petróleo también aparecen con concentración en sedimentos por debajo de los LD de 1,9 mg/kg del método analítico o en bajas concentraciones (<25 mg/kg), lo que indica una concentración muy baja o no detectable. Las concentraciones de aceites y grasas son variables y se encuentran dentro de rangos normales (50-200 mg/kg). El COT se mantiene en rangos de 0,07-3,4%, correspondiente a bajos valores de materia orgánica.

Para valorar el grado de contaminación por algunos metales pesados en sedimentos y sus efectos probables en la biota marina, se ha utilizado los valores de referencia del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME, 2001)<sup>3</sup>. Estos valores incluyen los niveles guía de calidad (ISQG, como mg/kg de materia como peso seco), el valor de efectos probables (PEL, como mg/kg de materia como peso seco) y la incidencia (en %) de los efectos biológicos adversos en tres rangos de concentración para los valores guía (ver **Cuadro 5A**).

| METAL    | ISQG | PEL  | %≤ISQG | ISQG<%<PEL | %≥PEL |
|----------|------|------|--------|------------|-------|
| Arsénico | 7,24 | 41,6 | 3      | 13         | 47    |
| Cadmio   | 0,7  | 4,2  | 6      | 20         | 71    |
| Cromo    | 52,3 | 160  | 4      | 15         | 53    |
| Cobre    | 18,7 | 108  | 9      | 22         | 56    |
| Plomo    | 30,2 | 112  | 6      | 26         | 58    |
| Mercurio | 0,13 | 0,70 | 8      | 24         | 37    |
| Zinc     | 124  | 271  | 4      | 27         | 65    |

Las concentraciones de arsénico se han mantenido en todos los sitios por debajo del valor de efectos probables PEL (41,6 mg/kg) y superiores al valor guía ISQG (7,24 mg/kg). Las concentraciones de cobre solo han superado el valor ISQG (18,7 mg/kg) en los sitios HB-R12 (20,3 mg/kg) y HB-T1 (24,5 mg/kg), estando por debajo del valor PEL (108 mg/kg).

Por su parte, las concentraciones del resto de metales pesados en sedimentos han estado en todos los sitios de monitoreo por debajo de los valores guía (ISQG), con concentraciones por debajo de los LD para de cadmio (<0,1 mg/kg) y plomo (<3 mg/kg).

Cabe destacar, que estos límites se han tomado en el presente trabajo como valores de referencia, al no disponer Panamá de legislación al respecto. Estos valores están asociados con unos efectos probables en la biota propia de las aguas frías de Canadá, sin relación probada con los efectos en la biota de las aguas subtropicales de la costa del Caribe en Panamá.

<sup>3</sup> Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Summary Tables. Updates. In: Canadian environmental quality guidelines.

### 4.3. Análisis de metales pesados en pez león

En el **Anexo 1** se recogen los análisis de metales pesados totales en tejidos de pez león, seleccionado como especie objetivo, referidos a materia seca o peso seco (s.m.s. ps).

Teniendo en cuenta la norma de referencia europea (Reglamento CE 104/2000 y Reglamento CE 466/2001 de 8 de marzo de 2001), en el **Cuadro 5B** de referencia adjunta se indican los límites para algunos metales pesados en carne de peces para alimentación y los valores medios y más elevados en las muestras obtenidas de pez león en Punta Rincón.

| CUADRO 5B. VALORES GUÍA DE METALES PESADOS EN CARNE DE PECES (mg/kg ps) Y RESULTADOS ANALÍTICOS EN PUNTA RINCÓN |             |             |           |                |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-----------|----------------|--------------|
| METAL                                                                                                           | CE 104/2000 | CE 466/2001 | VALORES   | VALOR MÁS ALTO | CUMPLIMIENTO |
| Plomo                                                                                                           | 0,2         | 0,4         | <0,002    | <0,002         | CUMPLE       |
| Cadmio                                                                                                          | 0,05        | 0,1         | <0,0002   | <0,002         | CUMPLE       |
| Mercurio                                                                                                        | 0,5         | 1,0         | 0,004-0,1 | 0,1            | CUMPLE       |

Las concentraciones de metales pesados en tejidos del pez león han sido muy bajas en todos los sitios de muestreo y por debajo de los límites utilizados como referencia.



*Presencia de pez león en los fondos duros profundos de HB-R3.*



#### 4.4. Hábitats de fondos duros

##### 4.4.1. Introducción

En la parte central de la costa del Caribe en Panamá predominan las playas arenosas de poca pendiente y con fuerte oleaje, caracterizadas por poseer ecosistemas marinos sublitorales (arrecifes de corales) agrupados en pequeñas colonias asociados a rocas de origen basáltico.

Las formaciones coralinas asociadas a estos tipos de fondos se consideran arrecifes de tipo costeros, bordeante o someros, por encontrarse entre 1 o 5 m. Sin embargo, también en algunas ocasiones estas formaciones se pueden encontrar entre los 25 y 40 m de profundidad, y están recubiertos por una capa de organismos como plantas, esponjas y colonias aisladas de corales. Estos organismos, son poco conocidos, y guardan una estrecha relación con otras especies que allí habitan, ya que son utilizados como recursos tróficos o refugio.

Los fondos duros rocosos juegan un rol importante en la ecología y la fauna típica asociada. La complejidad del sustrato que posean estos fondos, rocosos con manchas más o menos extensas de arena, determinará el éxito de las especies que colonizan esta zona.

Los fondos duros profundos ubicados frente a Punta Rincón, poseen un sustrato rocoso variable entremezclado con bancos de arena. Las zonas profundas se caracterizan por poseer menor penetración de la luz y moderada a baja turbidez, lo que limita el crecimiento de ciertas especies y contribuye al desarrollo de otras como esponjas y colonias de corales. Por su parte, los fondos duros someros se caracterizan por presentar una alternancia de sustratos duros y parches de arena y una mayor penetración de la luz, aunque están expuestos de forma más intensa a la acción del oleaje y los aportes de agua dulce del continente.

Se presentan los resultados obtenidos en los muestreos de fondos duros, divididos en fondos profundos –que se corresponden con los sitios de muestreo HB-R3 y HB-R33- y los fondos someros –HB-R12, HB-R15 y HB-R18-. Cabe indicar que, además de los reconocimientos visuales de los buceadores y su anotación en libretas, se ha empleado en este trabajo de forma novedosa la identificación automática de imágenes de cada cuadrante mediante la técnica CPCe (Coral Point Count con extensiones de Excel). Igualmente, se contó con el asesoramiento de especialistas en la identificación complementaria de los diferentes grupos biológicos.

##### 4.4.2. Fondos duros profundos

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios HB-R3 y HB-R33 de fondos duros profundos, se resumen en el **Cuadro 6**.

En el **Cuadro 7** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos- utilizadas para el seguimiento y reconocidas en los trabajos en HB-R3 y HB-R33.



| CUADRO 6. COBERTURA (%) DE LOS PRINCIPALES GRUPOS BIOLÓGICOS EN FONDOS DUROS PROFUNDOS |       |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|
| GRUPO BIOLÓGICO                                                                        | HB-R3 | HB-R33 |
| Corales                                                                                | 12,0  | 11,5   |
| Gorgóneas                                                                              | 2,0   | 2,0    |
| Eponjas                                                                                | 13,1  | 13,5   |
| Zoántidos                                                                              | 1     | 1      |
| Macroalgas                                                                             | 0     | 0      |
| Otras formas de vida                                                                   | 0,5   | 0,5    |
| Coral con algas muertas                                                                | 0     | 0      |
| Algas coralinas                                                                        | 11,9  | 13,2   |
| Corales enfermos                                                                       | 0     | 0      |
| Fondo de arena y piedras                                                               | 58    | 56     |
| Desconocidos                                                                           | 1,5   | 2,3    |

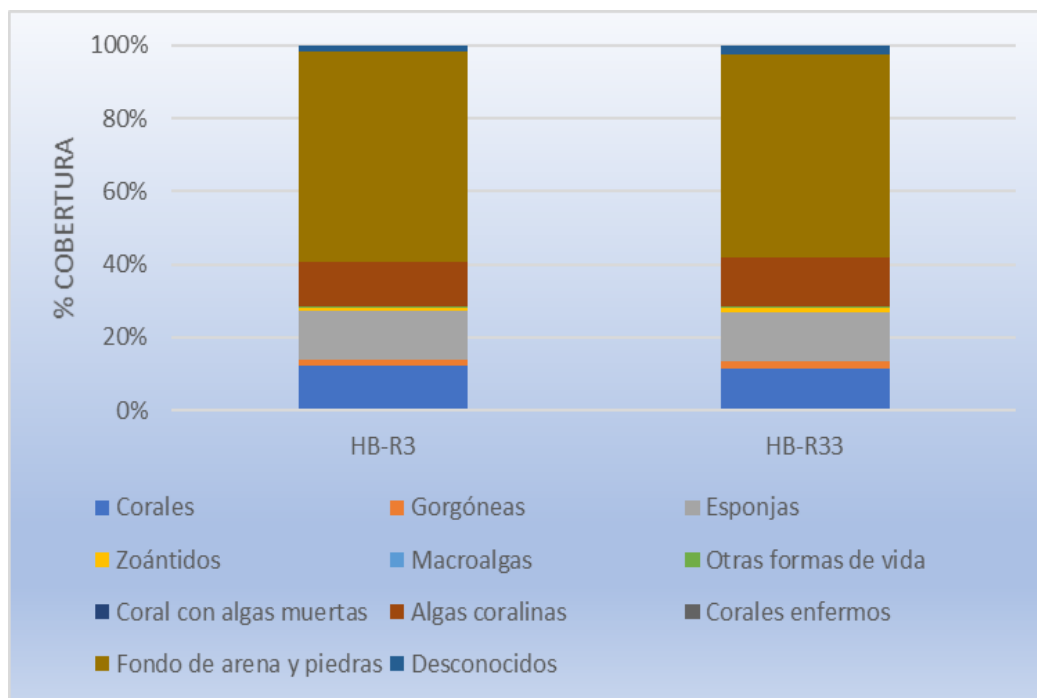


Gráfico 4. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de muestreo de fondos duros profundos.

| CUADRO 7. COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS PROFUNDOS |                                     |       |        |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------|--------|
| GRUPOS BIOLÓGICOS                                                             | NOMBRE DE LA ESPECIE                | HB-R3 | HB-R33 |
| Corales                                                                       | <i>Agaricia agaricites</i>          | 3,5   | 3,0    |
|                                                                               | <i>Agaricia lamarcki</i>            | 1     | 1      |
|                                                                               | <i>Agaricia undata</i>              | 2     | 2      |
|                                                                               | <i>Agaricia fragilis</i>            | 1     | 1      |
|                                                                               | <i>Agaricia grahamae</i>            | 1     | 2      |
|                                                                               | <i>Diploria clivosa</i>             | 1     | 1      |
|                                                                               | <i>Isophyllia sinuosa</i>           | 1     | 1      |
|                                                                               | <i>Favia fragum</i>                 | 1     | 1      |
|                                                                               | <i>Mycetophyllia ferox</i>          | 1     | 0,5    |
|                                                                               | <i>Siderastrea siderea</i>          | 1     | 1      |
|                                                                               | <i>Muriceopsis flavida</i>          | 0,5   | 0,5    |
|                                                                               | <i>Meandrina sp</i>                 | 2     | 2      |
| Algas                                                                         | <i>Halimeda tuna</i>                | 1     | 0,5    |
|                                                                               | <i>Lobophora variegata</i>          | 1     | 1      |
|                                                                               | <i>Penicillus pyriformis</i>        | 0,5   | 1,5    |
|                                                                               | <i>Ventricaria ventricosa</i>       | 0,5   | 1      |
|                                                                               | <i>Galaxaura sp</i>                 | 1     | 0,5    |
|                                                                               | <i>Dictyota menstrualis</i>         | 0,5   | 0,5    |
|                                                                               | <i>Amphiroa fragilissima</i>        | 1     | 0,5    |
|                                                                               | <i>Amphiroa rigida</i>              | 0,5   | 0,5    |
| Esponjas                                                                      | <i>Amphimedon compressa</i>         | 1     | 0,5    |
|                                                                               | <i>Aplysina cauliformis</i>         | 0,5   | 0,5    |
|                                                                               | <i>Aplysina fulva</i>               | 0,5   | 1      |
|                                                                               | <i>Callyspongia vaginalis</i>       | 1     | 1,5    |
|                                                                               | <i>Verungula rígida</i>             | 1     | 1      |
|                                                                               | <i>Ircinia campana</i>              | 1     | 1      |
|                                                                               | <i>Ircinia strobilina</i>           | 0,5   | 0,5    |
|                                                                               | <i>Spirastrella coccinea</i>        | 0,5   | .5     |
|                                                                               | <i>Verongula gigantea</i>           | 1     | 0,5    |
|                                                                               | <i>Xestospongia muta</i>            | 1     | 0,5    |
|                                                                               | <i>Xestospongia subtriangularis</i> | 0,5   | 0,5    |
| Gorgóneas                                                                     | <i>Pseudopterogorgia acerosa</i>    | 0,5   | 0,5    |
|                                                                               | <i>Pseudopterogorgia americana</i>  | 1     | 0,5    |
| Ascidiea                                                                      | <i>Ascideas sp</i>                  | 1     | 0,5    |
| Zooantidos                                                                    | <i>Palytoa caribeorum</i>           | 0,5   | 1      |
| Poliquetos                                                                    | <i>Spirobranchus giganteus</i>      | 0,5   | 0,5    |
| Crustaceos                                                                    | <i>Panulirus argus</i>              | 3,5   | 3      |

NOTA: Para facilitar la comparativa con la cobertura obtenida para cada especie en otros monitoeos, se ha mantenido el mismo listado de especies, aunque la cobertura haya sido cero o inferior a 0,5%.

## Sitio de muestreo HB-R3

### Corales

En el transecto HB-R3 se mantienen las colonias de corales formadoras de arrecifes de profundidad, presentando una cobertura de 12,0%, sin apenas variación con respecto a otros monitoreos. Se han identificado doce especies, destacando como dominantes *Agaricia agaricites* (mayoritaria en cobertura con un 3,5%), seguido en cobertura de *Agarides undata* y *Meandrina sp.* (2%). También destacan otras especies de coral como *Isophyllia sinuosa*, *Diploria clivosa* y *Isophyllia sinuosa*.

### Algas o Algas Coralinas

Durante este monitoreo las algas coralinas han dejado de ser el grupo dominante, con un porcentaje de cobertura del 11,9%. Incluye una alta diversidad de especies, destacando las algas rojas (Rodofitas) *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*, entre mezcladas junto a estas se encuentran *Labbiophora variegata* y *Penicillius pyriformis* especies con alto contenido de carbonato de calcio (algas coralinas incrustantes) y que juegan un papel fundamental en la consolidación y estabilización de los arrecifes de corales.

### Esponjas

Las esponjas fue el grupo más abundante, y observado en todo el transecto, con una cobertura media del 13,1%. Entre las especies registradas en este sitio, destacan nuevamente *Verungula rigida*, *Clathrina primordialis*, *Ircinia campana*, *Ircinia strobilina*, *Spirastrella coccínea* y *Verongula gigantea*.

### Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 2,0% de la cobertura. También en este monitoreo se volvieron a registrar como indicadoras las especies *Ascideas sp.*, *Pseudopterogorgia acerosa* y *Pseudopterogorgia americana*, con coberturas variables entre el 1-0,5%.

### Desconocidos y otras formas de vida

Los grupos denominados como “desconocidos<sup>4</sup> y otras formas de vida” representan el 1,5% de cobertura registrada, en las que se registran las Ascidias y los invertebrados marinos.

### Zooantidos

El orden agrupa a especies, tanto solitarias como coloniales, que se encuentran comúnmente en muchos ambientes marinos, incluso los arrecifes de coral. Destaca la presencia de la especie indicadora del seguimiento *Palytoa caribeorum*, con un 0,5% de cobertura media.

---

<sup>4</sup> Se incluyen dentro del grupo “desconocidos” a aquellos taxones que no han podido ser indentificados con la metodología de uso de imagen utilizada.

## Sitio de muestreo HB-R33

### Corales

La cobertura en este sitio fue similar a la registrada en el punto anterior, con 11,5% y también muy parecida a la de anteriores monitoreos. Este transecto cuenta con similares especies indicadoras, pues se corresponden con ambientes marinos profundos muy próximos al sitio HB-R3. Las especies más abundantes fueron *Agaricia agaricites*, *Agaricia undata*, *Meandrina sp.*, *Diploria clivosa* y *Isophyllia sinuosa*.

### Algas o Algas Coralinas

Las algas coralinas han sido el segundo grupo dominante, por detrás de las esponjas, alcanzando los 13,2% de cobertura. Dominaron las algas verdes como *Halimeda tuna*, *Lobophora variegata* y *Galaxaura sp.* y rojas (Rodofitas), dentro del cual se reportaron especies como *Amphiroa fragilissima* y *A. rigida*. Participan en la mayoría de las comunidades litorales y su abundancia permite considerarlas como elementos característicos de numerosos hábitats.

### Esponjas

El grupo que alcanza una mayor cobertura fueron las esponjas alcanzó (13,5%). Destacan las especies *Aplysina cauliformis*, *Aplysina fulva*, *Aplysina lacumosa*, *Ircina campana*, *Ircina strobilina*, *Spirastrella coccinea*, *Verongula gigantea* y *Xestospongia muta*. Estas especies son típicas de fondos duros del Caribe sobre los 15-40 m de profundidad, que reciben una luz moderada a baja, lo que limita su crecimiento y, al igual que en el sitio HB-R3, cubren los sustratos de roca dando una alta biodiversidad a estas formaciones.

### Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron un 2,0% de la cobertura, similar al sitio HB-R3. Las especies *Ascideas sp.*, *Pseudopterogorgia amaericana* y *Pseudopterogorgia acerosa* también fueron las más representativas.

### Desconocidos y otras formas de vida

Los “desconocidos y otras formas de vida” representan el 2,3% de cobertura registrada, considerado elevado. De todas formas, se destaca que este porcentaje se considera normal para la metodología utilizada, admitiéndose valores de hasta el 5%.

### Zooantidos

Los zooantidos, al igual que en HB-R3, están representados por *Palytoa caribaeorum* con 1,0% de cobertura similar.



*Vista general del fondo duro profundo en el sitio HB-R3. Se aprecia una variedad de esponjas, gorgonias y corales sobre el sustrato duro.*



*Esponja (Aplysina sp.) en el fondo duro del sitio HB-R33.*



#### 4.4.3. Fondos duros someros

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios HB-R12, HB-R15 y HB-R18 de fondos duros someros se resumen en el **Cuadro 8**.

Por su parte, en el **Cuadro 9** se incluyen los porcentajes de cobertura (%) para el área muestreada de las principales especies –por grupos biológicos- reconocidas en los trabajos.

| CUADRO 8. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN FONDOS DUROS SOMEROS |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| GRUPO BIOLÓGICO                                                                     | HB-R12 | HB-R15 | HB-R18 |
| Corales                                                                             | 3,0    | 4,0    | 4,0    |
| Gorgóneas                                                                           | 1,5    | 2,0    | 1,5    |
| Esponjas                                                                            | 4,5    | 5,0    | 5,0    |
| Zoántidos                                                                           | 1,0    | 1,5    | 0,5    |
| Macroalgas                                                                          | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Otras formas de vida                                                                | 1,5    | 1,5    | 1,5    |
| Coral con algas muertas                                                             | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Algas coralinas                                                                     | 1,5    | 1,0    | 1,5    |
| Corales enfermos                                                                    | 0,0    | 0,0    | 0,0    |
| Fondo de arena y piedras                                                            | 86,0   | 84,0   | 84,0   |
| Desconocidos                                                                        | 1,0    | 1,0    | 2,0    |

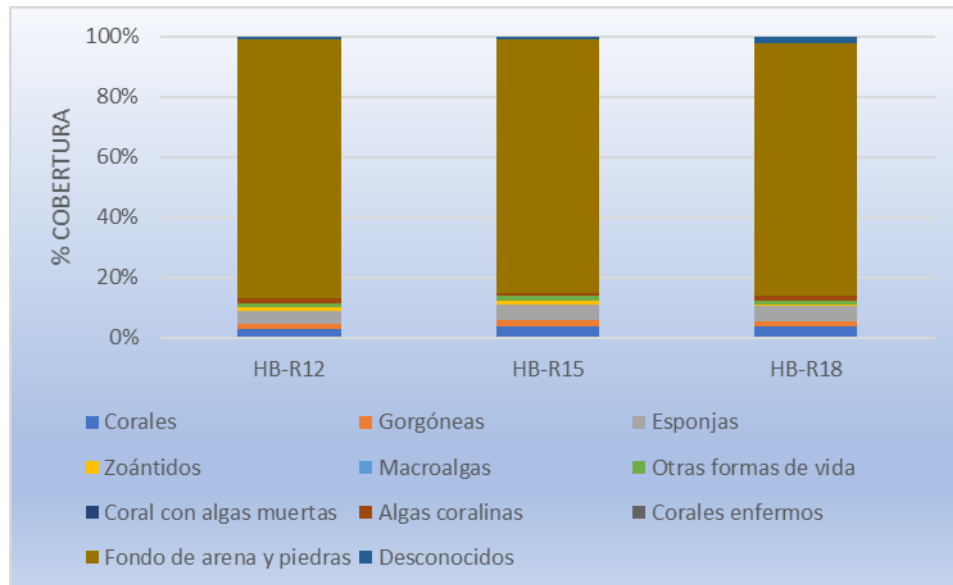


Gráfico 5. Comparativo entre los grupos biológicos de los sitios de muestreo de fondos duros someros.



| CUADRO 9. COBERTURA (%) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES EN FONDOS DUROS SOMEROS |                                    |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------|--------|--------|
| TAXAS                                                                       | ESPECIES                           | HB-R12 | HB-R15 | HB-R18 |
| Corales                                                                     | <i>Agaricia agaricites</i>         | 0,5    | 1,0    | 1,0    |
|                                                                             | <i>Agaricia undata</i>             | 1,0    | 1,0    | 0,5    |
|                                                                             | <i>Agaricia fragilis</i>           | 0,5    | 0,5    | 1,0    |
|                                                                             | <i>Agaricia grahamae</i>           | 0,5    | 1,0    | 1,0    |
|                                                                             | <i>Diplora clivosa</i>             | 0,5    | 0,0    | 0,5    |
|                                                                             | <i>Porites asteroides</i>          | 0,0    | 1,0    | 0,5    |
|                                                                             | <i>Muriceopsis flavida</i>         | 1,0    | 0,0    | 0,5    |
| Algas                                                                       | <i>Siderastrea sidérea</i>         | 1,0    | 1,0    | 1,5    |
|                                                                             | <i>Halimeda tuna</i>               | 0,5    | 0,5    | 0,5    |
|                                                                             | <i>Dictyota menstrualis</i>        | 0,5    | 0,0    | 0,5    |
|                                                                             | <i>Padina pavonica</i>             | 1,0    | 0,5    | 1,5    |
| Esponjas                                                                    | <i>Amphiroa fragilíssima</i>       | 0,0    | 0,5    | 1,0    |
|                                                                             | <i>Aplysina cauliformis</i>        | 0,5    | 0,5    | 1,5    |
|                                                                             | <i>Aplysina fulva</i>              | 0,5    | 0,5    | 0,5    |
|                                                                             | <i>Callyspongia vaginalis</i>      | 0,0    | 0,5    | 0,5    |
|                                                                             | <i>Clathrina primordialis</i>      | 0,5    | 1,5    | 1,0    |
|                                                                             | <i>Ircinia campana</i>             | 0,0    | 0,5    | 0,5    |
| Gorgóneas                                                                   | <i>Xestospongia muta</i>           | 1,0    | 1,0    | 0,0    |
|                                                                             | <i>Pseudopterogorgia acerosa</i>   | 0,5    | 0,5    | 0,0    |
|                                                                             | <i>Pseudopterogorgia americana</i> | 1,0    | 1,0    | 0,0    |
| Zooantido                                                                   | <i>Palytoa caribaeorum</i>         | 1,0    | 0,5    | 1,5    |
| Otros                                                                       | <i>Ascideas sp.</i>                | 1,0    | 0,0    | 0,5    |
| Crustáceos                                                                  | <i>Panulirus argus</i>             | 0,5    | 0,0    | 1,0    |
| Equinodermos                                                                | <i>Echinometra lucunter</i>        | 0,0    | 0,0    | 0,5    |

NOTA: Para facilitar la comparativa con la cobertura obtenida para cada especie en otros monitoeos, se ha mantenido el mismo listado de especies, aunque la cobertura haya sido cero o inferior a 0,5%.

Los fondos costero somero o bordeante del litoral del mar Caribe están formados por promontorios rocosos o arrecifes fósiles, alternados con bancos arenosos y rocas de origen basáltico. En los transectos seleccionados, las zonas ocupadas por arenas o restos de piedra sin colonizar representaron para el sitio HB-R12 un 86%; para HB-R15 un 84% y para HB-R18 un 84%. Estos porcentajes de arena han podido variar en los diferentes monitoreos, ya que el arrastre de sedimentos y su depósito en estos sitios por la corriente pueden estar afectados por la dominancia de los vientos o el caudal sólido de los ríos que vierten a esta zona, especialmente el río Caimito.

## Corales

Los corales en los sitios someros crecen en los escasos afloramientos de roca y además tienen que adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Las siete especies sobre las que se realiza el seguimiento presentaron una cobertura variable con un 3% para HB-R12, un 4,0% para HB-R15 y un 4,0% para HB-R18. Destacan las especies *Siderastrea siderea*, *Agaricea undata*, *Agaricia agaricites* y *Porites astreoides*, este último el más representativo de este tipo de fondo.

## Algas y Algas Coralinas

En los sitios someros se han registrado algas y algas coralinas asociadas a fondos arenosos y sustratos de piedra. Los porcentajes registrados para este grupo biológico fueron en HB-R12 con 1,5%, HB-R15 con 1,0% y HB-R18 con 1,5%, similar a otros monitoreos.

## Esponjas

Este grupo ha sido ligeramente superior en cobertura a los corales, destacando en el transecto HB-R12 una cobertura de 4,5%, en el transecto HB-R15 de 5,0% y en el transecto HB-R18 de 5,0%. Entre las formas más comunes podemos señalar *Aplysina cauliformis*, *Aplysina fulva*, *Clathrina primordialis*, *Ircina campan* y *Xestospongia muta*.

## Gorgóneas

Las gorgóneas o corales blandos o falsos corales representaron una media-baja cobertura para el sitio HB-R12, con 1,5%, para HB-R15 con 2,0% y para HB-R18 con 1,5%. Las especies *Pseudopterogorgia amaerica*, *Pseudopterogorgia acerosa* y *Muriceopsis flavida* fueron las más representativas.

## Zoantidos

Se han registrado coberturas similares en los tres sitios para este grupo de organismos, siendo para HB-R12, de 1,0% para HB-R15 con 1,5% y para HB-R18 con 0,5%. Al igual a lo registrado en anteriores monitoreos, la especie más representativa ha sido *Palytoa caribaerum*.

## Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos, que representan para HB-R12 un 1,5%, para HB-R15 un 1,5% y para HB-R18 un 1,5%.



*Fondos duros someros en HB-R12 con presencia de esponjas (Aplysina pulva).*



*Presencia de gorgonias (Pseudopterogorgia acerosa) en los fondos duros someros en HB-R15.*

#### 4.4.3. Zonas próximas a la terminal de carga

Los resultados de porcentaje de cobertura (%) para el área muestreada de los diferentes grupos biológicos identificados en cada transecto en los sitios próximos a la terminal de carga del puerto -HB-T1 y HB-T2-, se resumen en el **Cuadro 10**.

| CUADRO 10. COBERTURA (%) DE LOS DIFERENTES GRUPOS BIOLÓGICOS EN LAS ZONAS PRÓXIMAS A LA TERMINAL DE CARGA |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| GRUPO BIOLÓGICO                                                                                           | HB-T1 | HB-T2 |
| Corales                                                                                                   | 0     | 0     |
| Gorgóneas                                                                                                 | 0     | 0     |
| Eponjas                                                                                                   | 0     | 0     |
| Zoántidos                                                                                                 | 0     | 0     |
| Macroalgas                                                                                                | 0     | 0     |
| Otras formas de vida                                                                                      | 0     | 0     |
| Coral con algas muertas                                                                                   | 0     | 0     |
| Algas coralinas                                                                                           | 0     | 0     |
| Corales enfermos                                                                                          | 0     | 0     |
| Fondo de arena y piedras                                                                                  | 100   | 100   |
| Desconocidos                                                                                              | 0     | 0     |

En los dos sitios monitoreados en las proximidades de la terminal de caga dominan los fondos blandos, formados en su totalidad por arena fina a media. No se han observado la presencia de formas de vida en el sedimento, como corales, gorgóneas, esponjas o zoántidos, ni manchas o residuos de otro tipo. También durante este monitoreo se ha registrado restos orgánicos (hojas, maderas, etc) en el fondo traídos por la corriente y asociados con el arrastre de materiales de río Caimito, al igual a lo observado en la anterior campaña.



*Aspecto general del fondo marino en T1 (foto izquierda) y T2 (foto derecha), con presencia de restos orgánicos dispersos procedentes del arrastre de río Caimito.*

#### 4.4.4. Evolución temporal de las comunidades de fondos duros

En los **Gráficos 6 al 9** se incluye la representación de la variación del % de cobertura a lo largo del periodo 2016-2024, de los principales grupos de bentos de fondos duros, tanto para fondos someros, como para profundos.

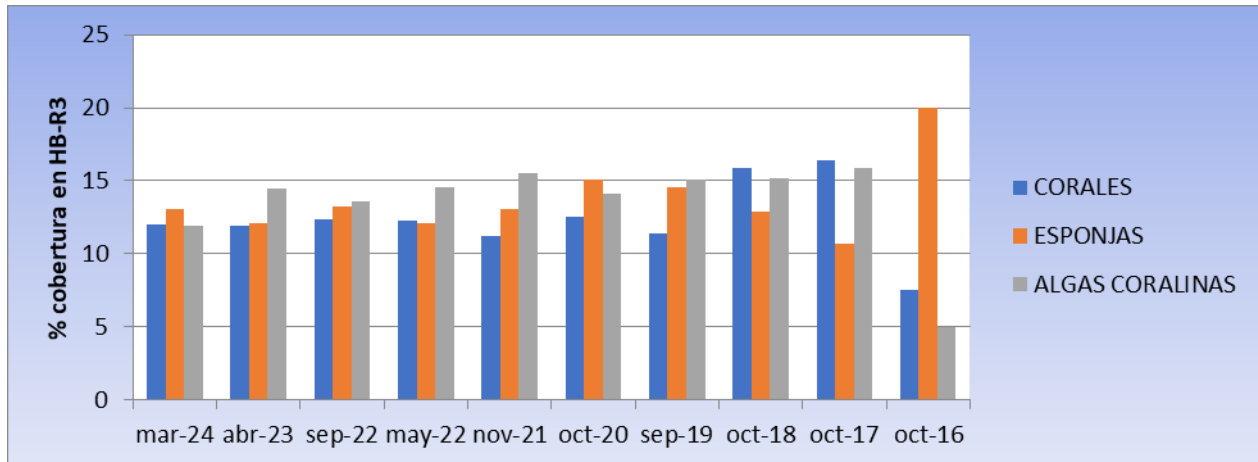


Gráfico 6. Evolución de la cobertura de los principales grupos biológicos de fondos duros en HB-R3 para el periodo 2016-2024.

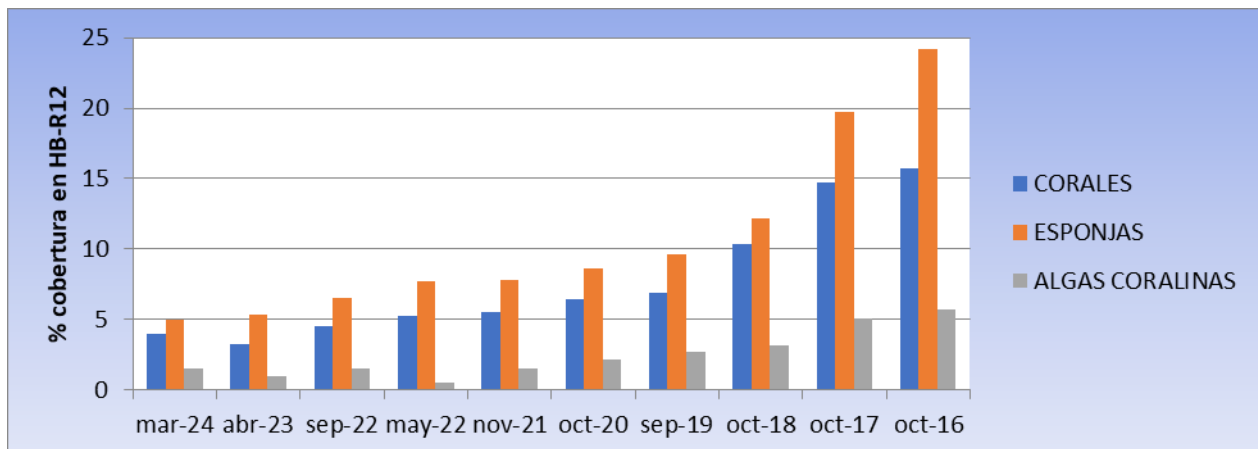


Gráfico 7. Evolución de la cobertura de los principales grupos biológicos de fondos duros en HB-R12 para el periodo 2016-2024.



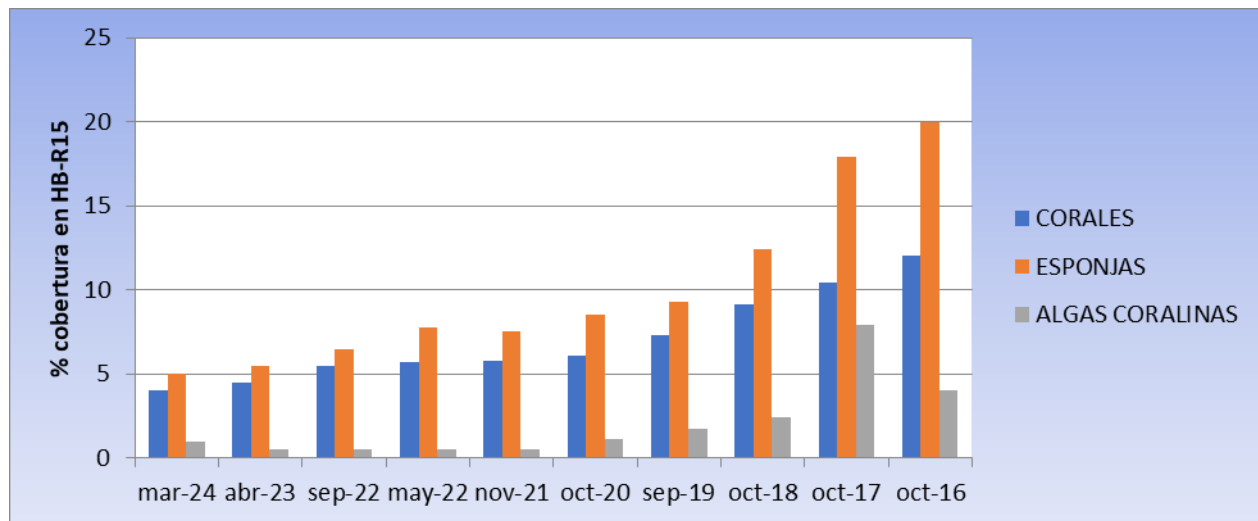


Gráfico 8. Evolución de la cobertura de los principales grupos biológicos de fondos duros en HB-R15 para el periodo 2016-2024.

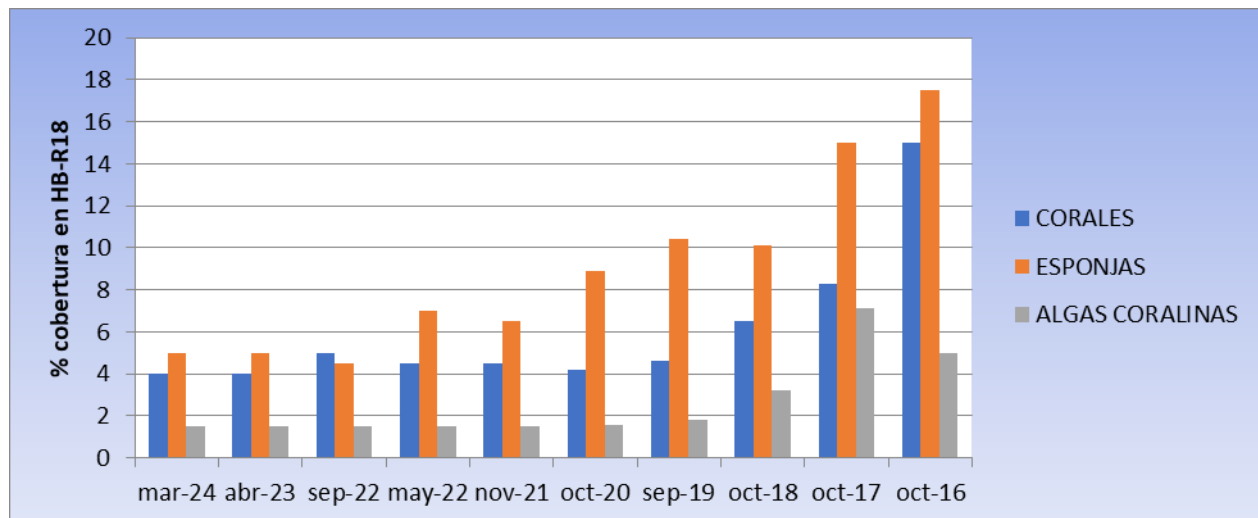


Gráfico 9. Evolución de la cobertura de los principales grupos biológicos de fondos duros en HB-R18 para el periodo 2016-2024.

Como se puede comprobar, en los fondos profundos se mantiene el % de cobertura de los diferentes grupos, con pequeñas variaciones entre los monitoreos. Para los fondos someros, se observa un ligero descenso de los % de cobertura, con un aumento del % ocupado por arenas en estos fondos desde el año 2016. En este sentido, se destaca que, aunque se ha producido un descenso en la cobertura de las principales formaciones en los fondos someros, parece que se ha estabilizado desde el año 2022, a la espera de comprobar cómo evoluciona la dinámica litoral y los aportes de sedimentos a estos puntos procedentes, principalmente, del arrastre de las corrientes marinas y aportes de los ríos en la zona.



## 4.5. Hábitats de fondos blandos

### 4.5.1. Introducción

La fauna bentónica de fondos blandos es la comunidad de organismos que vive en estrecha relación con el fondo de los ecosistemas acuáticos en donde predominan materiales con una alta composición granulométrica en arenas a limos.

Comprende una gran diversidad de grupos taxonómicos, destacando en el medio marino los poliquetos, moluscos, crustáceos y equinodermos, cuyas capacidades de natación o ambulación son reducidas o ausentes y su periodo de vida les permite mostrar respuestas a las variaciones ambientales, haciéndolos útiles para evaluar posibles impactos que podrían generar las actividades de origen antropogénico.

Es por ello, que la fauna bentónica de fondos blandos es evaluada para poder comprender el efecto sobre estas comunidades ante los probables indicios de contaminación o alteración ambiental en el medio marino-costero (Gray, 1981; Levinton 1982).

Con este fin, se procedió al muestreo de los fondos blandos en los diez (10) sitios de muestreo, con la recolección de muestras de sedimentos y su posterior tamizado en tamiz de 500 µm. Su estudio incluyó la composición y abundancia de las especies, así como el análisis de su estructura teniendo en cuenta los principales índices estructurales. En definitiva, con el estudio de las comunidades bentónicas de fondos blandos se pretende valorar el posible impacto de las instalaciones de la mina y el puerto de Punta Rincón y cómo evolucionan en el tiempo.

### 4.5.2. Composición y abundancia

Se muestrearon 10 estaciones, de las cuales se cuantificó un total de 5669 individuos y se identificaron 3 Phyla, 5 Clases, 24 Órdenes y 30 Familias. Con 31 taxones registrados, el bentos está constituido mayoritariamente por Moluscos con 24 especies, en menor proporción los Poliquetos con 4 y Crustáceos y otros grupos con 5 taxones.

Los resultados globales de la composición y abundancia (ind/m<sup>2</sup>) de las especies y grupos del bentos marino, tanto para las estaciones profundas (HB-R3 y HB-R33 en conjunto), como someras (HB-T1, HB-T2, HB-R12, HB-R15, HB-R18 y HB-CE) y los sitios HB-E10 y HB-E4 se resumen en el **Cuadro 11**.

Las especies más abundantes en los recuentos han sido *Tellina sp.*, *Cerithium sp.*, *Retusa sp.*, *Anachis sp* y *Prunum sp.* entre los moluscos, seguidos de *Glycera sp.* y *Arenicola sp.* entre los poliquetos. En otros grupos destaca taxones de la familia Gammaridae, constituidos por varias especies de crustáceos anfípodos que no forman parte del bentos propiamente dicho. La relación de estas especies con el sustrato (formado por arenas finas a gruesas) y otros factores ambientales como la profundidad de la columna de agua, corrientes o aportes de materia orgánica, determina su distribución en los diferentes hábitats de las zonas litorales.

CUADRO 11. DENSIDAD (ind/m<sup>2</sup>) DEL BENTOS DE FONDOS BLANDOS

| TAXONES                 | HB-R3      | HB-R33     | HB-R12      | HB-R15      | HB-R18      | HB-T1      | HB-T2      | HB-CE     | HB-E10     | HB-E4      | TOTAL       |
|-------------------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|-----------|------------|------------|-------------|
| <i>Cerithium sp.</i>    | 15         | 15         | 148         | 74          | 74          |            |            |           | 74         | 15         | 415         |
| <i>Epitonium sp.</i>    |            |            |             | 74          |             |            |            |           |            | 15         | 89          |
| <i>Anachis sp.</i>      |            |            | 74          | 148         | 148         |            |            |           | 15         | 15         | 400         |
| <i>Nassarius sp.</i>    | 74         | 15         | 15          | 74          |             | 15         |            |           |            |            | 193         |
| <i>Diplodonta sp.</i>   |            |            |             |             |             |            |            | 15        |            | 15         | 30          |
| <i>Natica sp.</i>       | 74         | 148        | 15          |             | 74          | 15         |            |           | 15         | 15         | 356         |
| <i>Tellina sp.</i>      | 74         | 15         | 74          | 222         | 148         |            | 74         |           | 74         | 148        | 829         |
| <i>Olivella sp.</i>     | 15         | 74         | 74          | 15          | 148         |            |            |           | 15         |            | 341         |
| <i>Littorina sp.</i>    |            |            | 15          | 148         |             |            |            |           |            | 15         | 178         |
| <i>Retusa sp.</i>       | 15         | 74         | 74          | 148         | 148         |            |            |           | 15         | 15         | 489         |
| <i>Persicula sp.</i>    |            | 15         | 74          |             |             |            |            | 15        |            |            | 104         |
| <i>Turbonilla sp.</i>   |            |            |             | 15          |             |            |            | 15        |            |            | 30          |
| <i>Cerithiopsis sp.</i> |            |            |             | 15          | 74          |            |            |           |            | 15         | 104         |
| <i>Thiphora sp.</i>     | 15         |            | 15          | 15          |             |            |            |           | 15         |            | 60          |
| <i>Tegula sp.</i>       |            | 15         |             | 15          | 222         |            |            |           |            |            | 252         |
| <i>Mangelia sp.</i>     |            | 15         | 15          |             | 15          |            |            |           |            | 15         | 60          |
| <i>Fissurella sp.</i>   | 15         |            |             | 74          | 74          |            |            |           | 15         |            | 178         |
| <i>Hyalina sp.</i>      | 15         | 15         | 148         |             |             |            |            | 15        |            |            | 193         |
| <i>Cymatium sp.</i>     |            |            | 15          |             |             |            |            |           |            |            | 15          |
| <i>Acmaea sp.</i>       |            |            |             |             |             | 15         | 15         |           |            |            | 30          |
| <i>Emarginula sp.</i>   |            | 15         |             | 15          |             |            |            |           | 15         |            | 45          |
| <i>Prunum sp.</i>       |            | 74         | 296         | 74          | 15          |            |            |           | 15         |            | 474         |
| <i>Nerita sp.</i>       |            | 15         |             | 15          |             |            |            |           |            |            | 30          |
| <i>Cittorina sp.</i>    |            |            | 15          |             |             |            |            |           | 15         |            | 30          |
| <i>Glycera sp.</i>      |            | 148        |             |             | 15          | 15         | 74         |           |            | 15         | 267         |
| <i>Mangelona sp.</i>    |            |            | 15          | 15          |             |            |            |           |            |            | 30          |
| <i>Capitellidae</i>     |            |            | 15          |             | 15          |            |            |           |            |            | 30          |
| <i>Arenicola sp.</i>    |            |            | 15          |             |             | 74         | 74         |           |            | 15         | 178         |
| <i>Goniadidae</i>       |            | 15         |             |             |             | 15         |            |           |            |            | 30          |
| <i>Gammaridae</i>       |            | 15         | 15          |             | 74          |            |            | 15        | 15         |            | 134         |
| <i>Isopodo</i>          |            |            | 15          |             |             |            |            | 15        |            |            | 30          |
| <i>Anfipodo</i>         |            |            | 15          | 15          |             |            | 15         |           |            |            | 45          |
| <b>Total</b>            | <b>312</b> | <b>683</b> | <b>1157</b> | <b>1171</b> | <b>1244</b> | <b>149</b> | <b>252</b> | <b>90</b> | <b>298</b> | <b>313</b> | <b>5669</b> |

Del análisis de la densidad por localidades monitoreadas se puede señalar que los sitios HB-R18 y HB-R15 presentaron las mayores densidades, con 1244 ind/m<sup>2</sup> y 1171 ind/m<sup>2</sup> respectivamente, seguido de las estaciones HB-R12 con 1157 ind/m<sup>2</sup> y HB-R33 con 683 ind/m<sup>2</sup>. La de menor abundancia fue la estación HB-CE con 90 ind/m<sup>2</sup>. Los moluscos dominan claramente la comunidad en todos los sitios de monitoreo, seguido de los anélidos poliquetos.

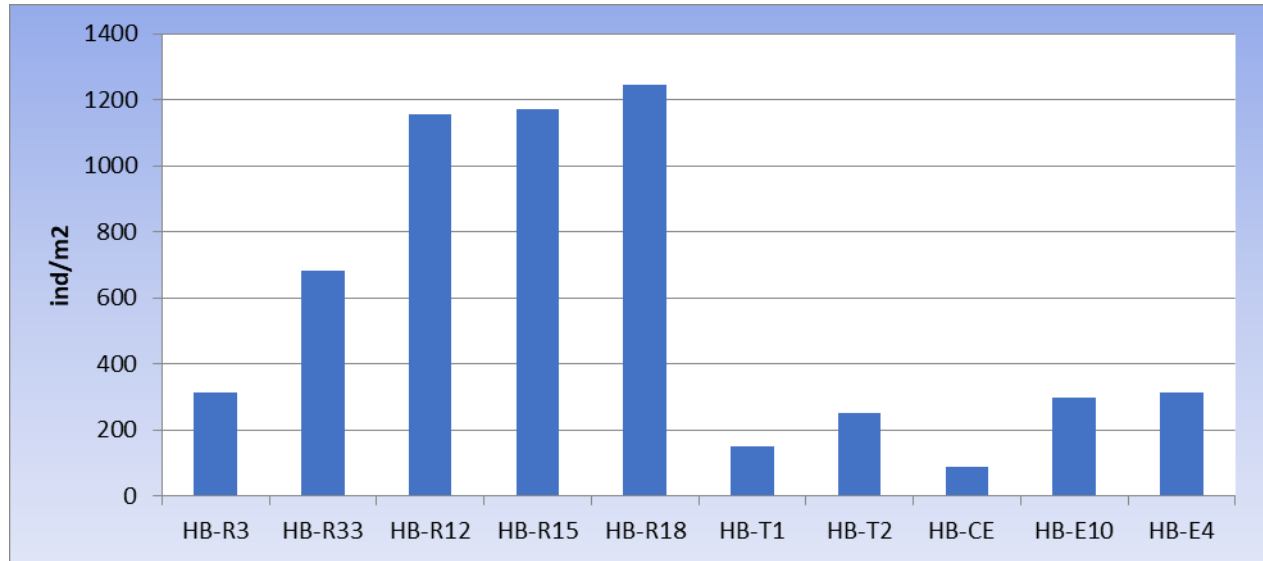


Gráfico 10. Distribución en los diferentes sitios de monitoreo de la densidad (ind/m<sup>2</sup>) del bentos de fondos blandos.

#### 4.5.3. Estructura de la comunidad

Se muestran en el **Cuadro 12** los resultados de los índices estructurales del bentos marino.

| CUADRO 12. ÍNDICES ESTRUCTURALES DE LA COMUNIDAD DEL BENTOS BLANDO |       |        |        |        |        |       |       |       |        |       |
|--------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| ÍNDICES                                                            | HB-R3 | HB-R33 | HB-R12 | HB-R15 | HB-R18 | HB-T1 | HB-T2 | HB-CE | HB-E10 | HB-E4 |
| Taxa_S                                                             | 9     | 16     | 21     | 18     | 14     | 6     | 5     | 6     | 12     | 12    |
| Individuals                                                        | 312   | 683    | 1157   | 1171   | 1244   | 149   | 252   | 90    | 298    | 313   |
| Dominance_D                                                        | 0,18  | 0,13   | 0,12   | 0,10   | 0,11   | 0,29  | 0,26  | 0,16  | 0,15   | 0,25  |
| Simpson_1-D                                                        | 0,82  | 0,87   | 0,88   | 0,90   | 0,89   | 0,71  | 0,74  | 0,84  | 0,85   | 0,75  |
| Shannon_H                                                          | 1,91  | 2,32   | 2,50   | 2,48   | 2,38   | 1,52  | 1,42  | 1,82  | 2,22   | 1,97  |
| Evenness_e^H/S                                                     | 0,75  | 0,64   | 0,58   | 0,66   | 0,77   | 0,76  | 0,83  | 1,03  | 0,76   | 0,60  |
| Brillouin                                                          | 1,84  | 2,25   | 2,44   | 2,44   | 2,34   | 1,43  | 1,38  | 1,68  | 2,11   | 1,88  |
| Menhinick                                                          | 0,51  | 0,61   | 0,62   | 0,53   | 0,40   | 0,49  | 0,32  | 0,63  | 0,70   | 0,68  |
| Margalef                                                           | 1,39  | 2,30   | 2,84   | 2,41   | 1,82   | 1,00  | 0,72  | 1,11  | 1,93   | 1,91  |
| Equitability_J                                                     | 0,87  | 0,84   | 0,82   | 0,86   | 0,90   | 0,85  | 0,88  | 1,02  | 0,89   | 0,79  |

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener se mantuvieron en el rango de 1,42-2,50 bits, con una excepción en la que se registraron pocas especies e individuos en HB-T1 y HB-T2 (1,42-1,52 bits/ind). Las mayores diversidades se han dado en los sitios HB-R12 (2,50 bits/ind), HB-R15 (2,48 bits/ind), HB-R18 (2,38 bits/ind) y HB-E10 (2,22 bits/ind). Con el índice de diversidad de Margalef se obtienen resultados similares, aunque presenta un mayor valor en el HB-R12 (2,84 bits/ind), al tener una densidad de especies significativamente más elevada que el resto.

La distribución espacial de la macroinfauna asociada a fondos blandos frente a Punta Rincón presenta comunidades típicas de hábitats caribeños y poco alteradas por las actividades de la mina y el puerto, en donde las variables ambientales (principalmente profundidad y localización geográfica) no tienen mayor influencia sobre su estructura y distribución; es decir, no hay mayores diferencias en cuanto a la composición por taxa entre las estaciones profundas y someras. Asimismo, no se presentaron especies características de las asociaciones y, en la mayor parte de los sitios, hay pocas especies abundantes, dominantes o frecuentes para el total de la comunidad.

Se han encontrado diferencias en las densidades totales registradas con respecto a los monitoreos de años anteriores, presentando una composición de especies similar, aunque con una menor densidad y composición de la comunidad, asociada con cambios estacionales.

#### 4.5.4. Evolución temporal de la comunidad de fondos blandos

En las **Gráficas 11 a 13** se incluye la evolución temporal de los principales índices de la comunidad del bentos de fondos blandos (densidad, diversidad y riqueza).

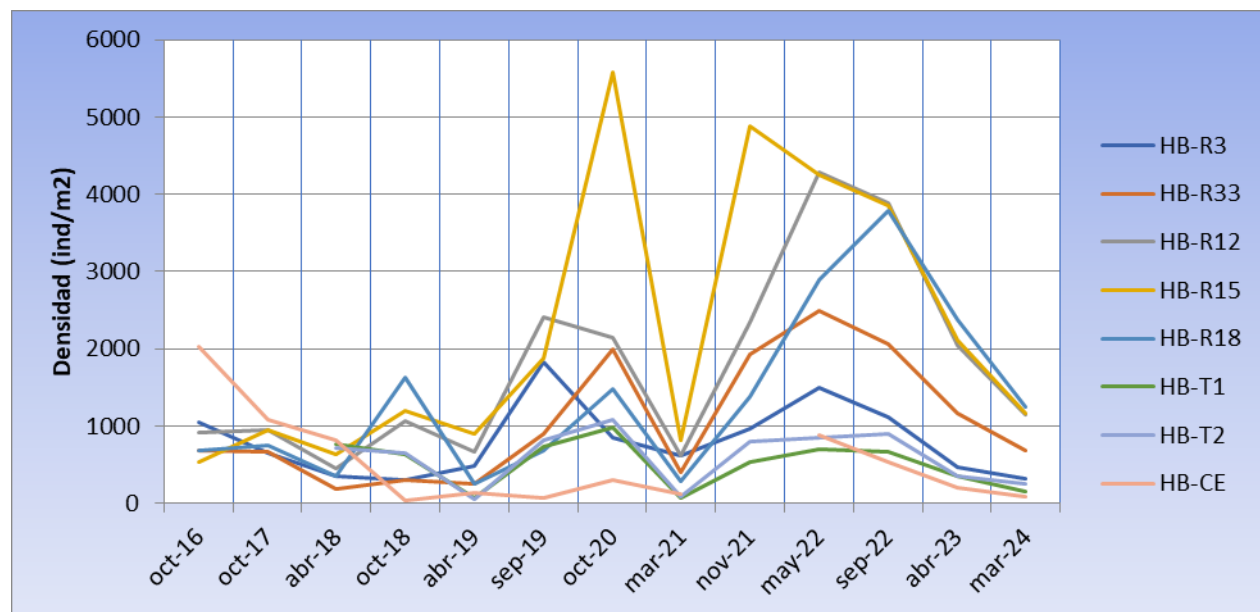


Gráfico 11. Evolución temporal de la densidad (ind/m<sup>2</sup>) del bentos de fondos blandos. Periodo 2016-2024.

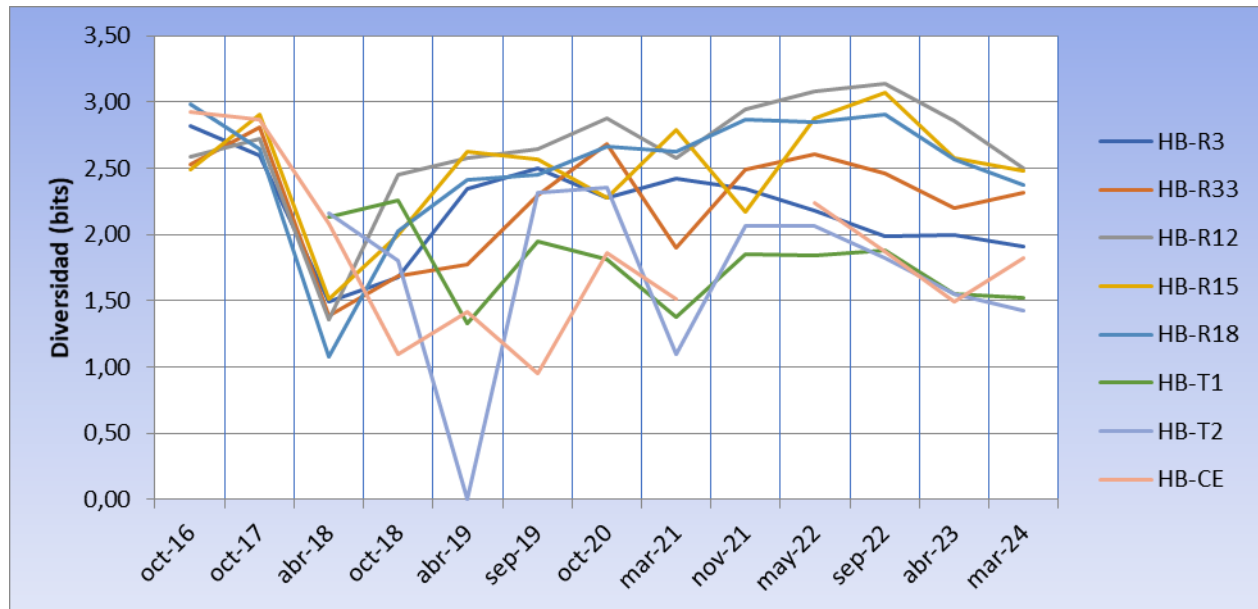


Gráfico 12. Evolución temporal de la diversidad Shannon del bentos de fondos blandos. Periodo 2016-2024.

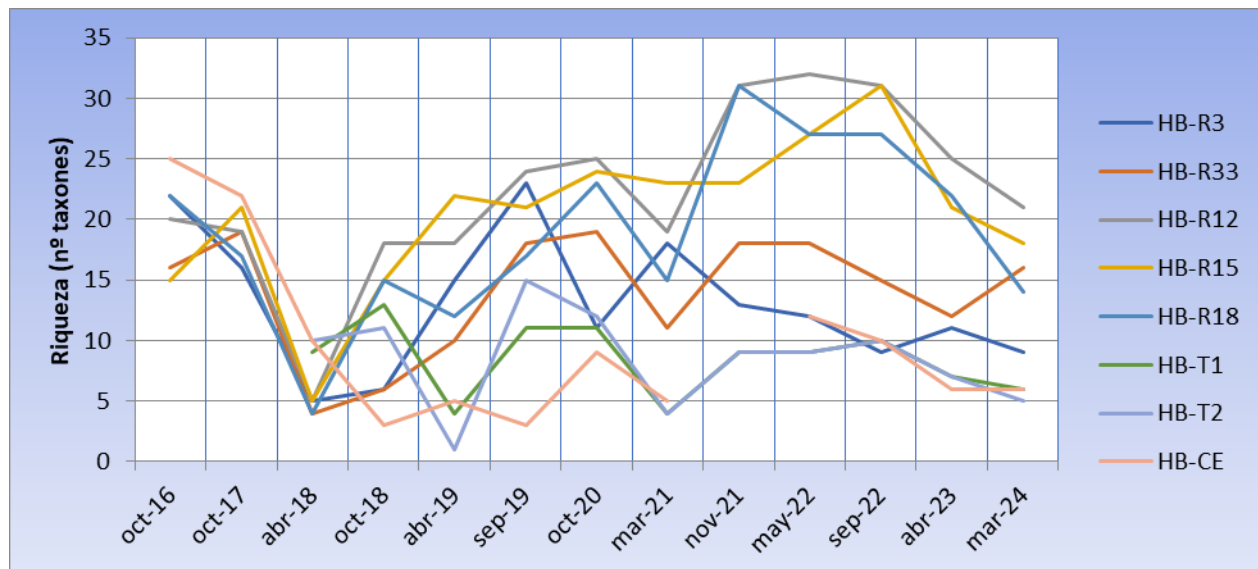


Gráfico 13. Evolución temporal de la riqueza de especies del bentos de fondos blandos. Periodo 2016-2023.

La evolución temporal de los valores de los tres índices se mantiene dentro de rangos más o menos continuos en los diferentes años, asociado principalmente a la propia variabilidad intrínseca de este tipo de comunidades biológicas. Este año 2024 se ha registrado una menor densidad y riqueza de especies, pero no se observó ningún efecto que pudiera afectar a estas comunidades, por lo que este cambio tendencial pudo estar debido a la variabilidad estacional que presentan los grupos del bentos marino.

## 4.6. Estudio de la comunidad de peces

### 4.6.1. Introducción

El presente monitoreo marino incluye los resultados del seguimiento de la ictiofauna presente en los fondos duros y arenosos en aguas someras y profundas cercanos a Punta Rincón. La evaluación continua del estado de la comunidad ictiológica en dichos fondos es de suma importancia, ya que el mismo puede reflejar el estado del ambiente circundante, permitiendo detectar cualquier variación en la composición ictiológica en éste área de estudio asociado a posibles efectos debidos a las actividades del puerto y la mina.

El hábitat superficial de fondo duro (al este y oeste) de Punta Rincón inicia en aguas intermareales. Los hábitats de fondo duro al oeste presentan un área de grandes cantos rodados meteorizados que parecen haberse originado del promontorio de Punta Rincón. Las grandes rocas redondeadas y cantos rodados se extienden desde el borde de la playa hasta una profundidad aproximada de 8 m siguiendo un patrón triangular. Este hábitat de fondo duro al este es un área de afloramientos de lecho rocoso combinados con cantos rodados meteorizados. Esta característica se encuentra en aguas superficiales (5 a 8 m) al este de las instalaciones del puerto y cubre un área limitada. Entremezclado con esta formación, aparecen manchas de arenales costeros, muy característicos de la costa del Caribe panameño, que representan un hábitat muy importante para las comunidades de peces e invertebrados.

De esta forma, el estudio y censo de las comunidades de peces, tanto en los hábitats de fondos profundos, como de fondos someros más próximos a la costa, se ha centrado en los siguientes objetivos:

- Descripción de la composición cuantitativa y cualitativa de las especies de peces
- Descripción estructural de las comunidades. Diversidad biológica
- Estudio específico del pez león (*Pterois volitans*)
- Estudio específico del pez tamboril (*Canthigaster rostrata*)

### 4.6.2. Composición y abundancia de especies

#### FONDOS PROFUNDOS

Los fondos profundos (duros y blandos) se ubican aproximadamente a 1 km de la costa frente al área de construcción del puerto, entre 80-96 pies de profundidad y están conformados por fondos duros que se levantan sobre un fondo arenoso que los rodea, hasta unos 15-20 pies. Estas lajas se encuentran tapizadas principalmente por esponjas y algunas especies de algas macroscópicas marinas. La visibilidad de sus aguas durante los buceos fue de 30 a 40 pies.

En el **Cuadro 13** se recoge el censo con la estima de abundancia de las especies de peces registradas en los dos sitios de muestreo (HB-R3 y HB-R33) representativos de fondos profundos.



CUADRO 13. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10<sup>3</sup>m<sup>2</sup>) DE LAS PRINCIPALES ESPECIES DE PECES EN FONDOS PROFUNDOS

| FAMILIAS (N. Común)            | Especies                                              | FONDO PROFUNDO |        |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------|--------|
|                                |                                                       | HB-R3          | HB-R33 |
| Acanthuridae (cirujanos)       | <i>Acanthurus bahianus</i> (Castelnau, 1855)          | 15             | 10     |
| Carangidae (jureles)           | <i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)        | 5              | 5      |
|                                | <i>Caranx latus</i> (Agassiz, 1831)                   | 5              | 10     |
| Scorpionidae (peces escorpión) | <i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)              | 10             | 10     |
| Haemulidae (roncador)          | <i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)        | 0              | 5      |
|                                | <i>Haemulon aurolineatum</i> (Cuvier, 1830)           | 5              | 5      |
| Kyphosidae (chopas)            | <i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)            | 5              | 10     |
| Labridae (labridos)            | <i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)                | 5              | 5      |
|                                | <i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791)           | 0              | 5      |
|                                | <i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)          | 0              | 5      |
| Lutjanidae (pargos)            | <i>Lutjanus cyanopterus</i> (Cuvier, 1828)            | 10             | 5      |
|                                | <i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)               | 5              | 0      |
|                                | <i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)             | 5              | 0      |
| Mullidae (salmonete)           | <i>Pseudupeneus plumieri</i> (Bloch, 1786)            | 5              | 0      |
| Pomacanthidae (angeles)        | <i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)                 | 10             | 5      |
| Pomacentridae (dama)           | <i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)           | 5              | 0      |
|                                | <i>Chromis cyanea</i> (Poey, 1860)                    | 5              | 5      |
|                                | <i>Stegastes fuscus</i> (Cuvier, 1830)                | 0              | 5      |
| Scaridae (loros)               | <i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)            | 5              | 0      |
| Serranidae (mero)              | <i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)        | 0              | 5      |
| Sparidae (cabezón)             | <i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)      | 5              | 0      |
| Sphyraenidae (Barracuda)       | <i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards in Catesby, 1771) | 0              | 5      |
| Tetraodontidae (tamboril)      | <i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)            | 5              | 0      |
| TOTAL                          |                                                       | 110            | 100    |

Durante este monitoreo se han inventariado un total de 210 individuos/10<sup>3</sup> m<sup>2</sup> entre HB-R3 y HB-R33 de los principales grupos de peces. La especie más abundante fue *Acanthurus bahianus* (10-13%), seguido de un amplio grupo de especies que aparecen de forma común en este tipo de fondos duros. Destacan las especies *Caranx latus* (4-10%), *Pterois volitans* (9-10%), *Lutjanus cyanopterus* (5-9%) y *Pomachancus paru* (5-9%). En este monitoreo se constató la presencia del tamboril (*Canthigaster rostrata*) con densidades bajas (inferior a 5%).

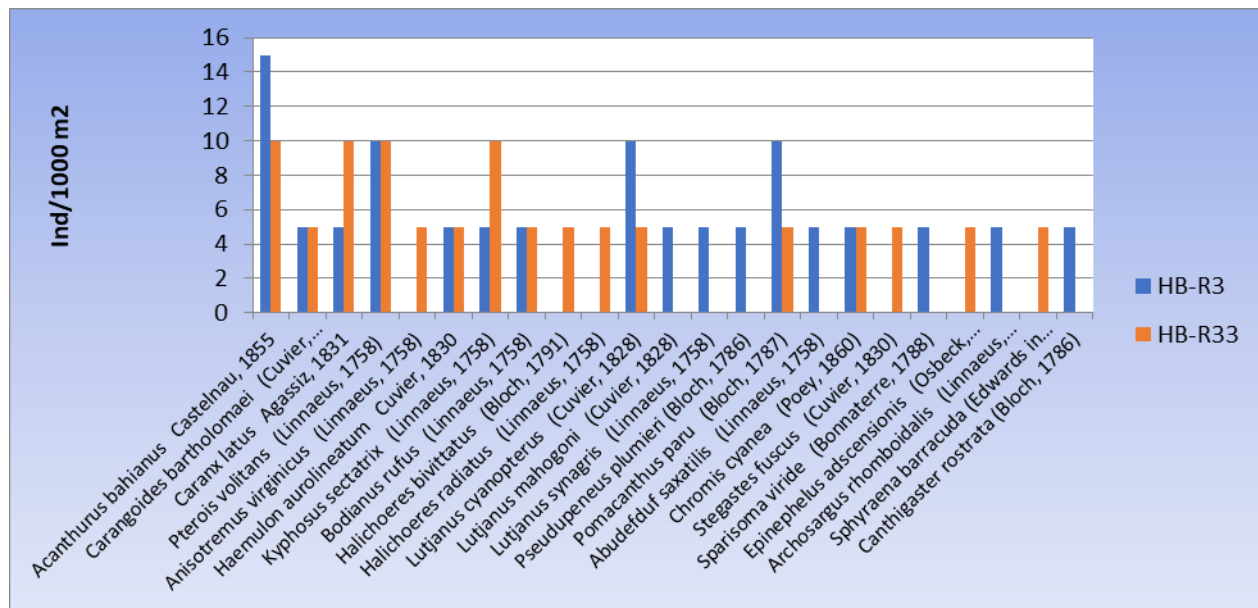


Gráfico 14. Distribución porcentual de las especies de peces de seguimiento en los fondos profundos.

## FONDOS SOMEROS

Los fondos someros en Punta Rincón presentan profundidades comprendidas entre los 20 a 30 pies aproximadamente y están conformados por arena y piedras de tamaño medio a rocas grandes, tapizadas por diversas formas bentónicas de macroalgas, esponjas, etc.

Este lecho marino está influenciado directamente por el oleaje (debido a su poca profundidad); que se refleja sobre la arena. Adicional a esto, se observa la presencia de vegetación continental sumergida, muy característico en áreas aledañas a los ríos en el Caribe de Panamá (Garrity & Levings, 1993).

Esta condición puede ser originada por la descarga del río Caimito, ubicado al Norte, debido al patrón dominante de corrientes marinas en el área (Norte-Sur), aportando restos de material vegetal y sedimentos telúricos hacia estos fondos.

En el **Cuadro 14** se incluye la composición y abundancia de las principales especies de peces sobre las que se centra el monitoreo de seguimiento en HB-R12, HB-R15, HB-R18, HB-T1 y HB-T2.

En el **Gráfico 15** la representación gráfica de las diferentes densidades registradas en cada sitio de monitoreo.

CUADRO 14. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>) DE PECES EN FONDOS SOMEROS

| FAMILIAS (N. Común)            | Especies                                            | HB-R12 | HB-R15 | HB-R18 | HB-T1 | HB-T2 |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Acanthuridae (cirujanos)       | <i>Acanthurus bahianus</i> (Castelnau, 1855)        | 10     | 5      | 5      | 0     | 0     |
|                                | <i>Acanthurus coeruleus</i> Bloch & Schneider, 1801 | 10     | 5      | 0      | 0     | 0     |
| Carangidae (jureles)           | <i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)      | 5      | 5      | 0      | 0     | 0     |
|                                | <i>Caranx crysos</i> (Mitchill, 1815)               | 0      | 5      | 0      | 0     | 0     |
| Scorpionidae (peces escorpión) | <i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)            | 10     | 5      | 5      | 0     | 0     |
| Gerreidae (mojarra)            | <i>Eucinostomus melanopterus</i> (Bleeker, 1863)    | 5      | 0      | 0      | 0     | 0     |
|                                | <i>Gerres cinereus</i> (Walbaum, 1792)              | 5      | 0      | 5      | 0     | 0     |
| Haemulidae (roncador)          | <i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)      | 5      | 0      | 5      | 0     | 0     |
|                                | <i>Haemulon carbonarium</i> (Poey, 1860)            | 5      | 0      | 0      | 0     | 0     |
|                                | <i>Haemulon flavolineatum</i> (Desmarest, 1823)     | 5      | 5      | 0      | 0     | 0     |
| Holocentridae (ardillas)       | <i>Holocentrus rufus</i> (Walbaum, 1792)            | 5      | 5      | 5      | 0     | 0     |
| Kyphosidae (chopas)            | <i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)          | 5      | 5      | 0      | 0     | 0     |
| Labridae (labridos)            | <i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)              | 0      | 5      | 5      | 1     | 1     |
|                                | <i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791)         | 0      | 5      | 0      | 0     | 0     |
|                                | <i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)        | 5      | 5      | 0      | 0     | 0     |
| Lutjanidae (pargos)            | <i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828)               | 0      | 5      | 0      | 0     | 0     |
|                                | <i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)             | 0      | 5      | 0      | 0     | 0     |
|                                | <i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)           | 0      | 5      | 0      | 0     | 0     |
| Pomacanthidae (angeles)        | <i>Holacanthus tricolor</i> (Bloch, 1795)           | 5      | 0      | 0      | 0     | 0     |
|                                | <i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)               | 0      | 5      | 5      | 0     | 0     |
| Pomacentridae (dama)           | <i>Chromis insolata</i> (Cuvier, 1830)              | 0      | 5      | 5      | 0     | 0     |
|                                | <i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830)      | 10     | 5      | 5      | 0     | 0     |
|                                | <i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)       | 0      | 5      | 0      | 0     | 0     |
| Scaridae (loros)               | <i>Scarus guacamaia</i> (Cuvier, 1829)              | 0      | 5      | 5      | 0     | 0     |
|                                | <i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)          | 0      | 5      | 5      | 0     | 0     |
| Serranidae (mero)              | <i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)      | 0      | 5      | 0      | 0     | 0     |

CUADRO 14. COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA (IND/10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>) DE PECES EN FONDOS SOMEROS

|                           |                                                       |    |     |    |   |   |
|---------------------------|-------------------------------------------------------|----|-----|----|---|---|
| Sparidae (cabezón)        | <i>Calamus penna</i> (Valenciennes, 1830)             | 5  | 0   | 5  | 0 | 0 |
| Sphyraenidae (Barracuda)  | <i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards in Catesby, 1771) | 0  | 0   | 5  | 0 | 0 |
| Tetraodontidae (tamboril) | <i>Diodon hystrix</i> (Linnaeus, 1758)                | 0  | 5   | 0  | 0 | 0 |
|                           | <i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)            | 0  | 5   | 0  | 0 | 0 |
|                           | TOTAL                                                 | 95 | 115 | 65 | 1 | 1 |

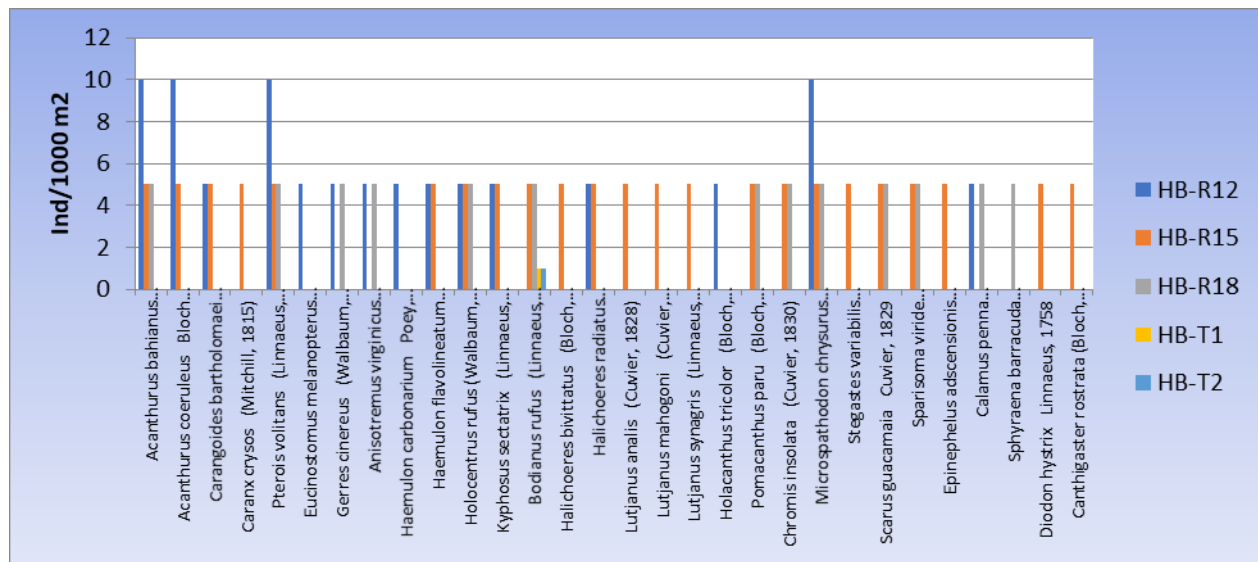


Gráfico 15. Distribución porcentual de las principales especies de peces de seguimiento en fondos someros.

En los monitoreos de fondos someros se han registrado un total de 426 individuos/1000 m<sup>2</sup>. El número de taxones registrados fue similar en los sitios HB-R12, HB-R15 y HB-R18 (25, 27 y 24). Las especies más abundantes en HB-R12-HB-R15-HB-R18 fueron *Acanthurus bahianus* (10-4-7%), *Pterois volitans* (10-4-7%) y *Microspathodon chrysurus* (Cuvier, 1830). Se han registrado similares especies que en anteriores monitoreos, aunque con una menor densidad. En general, en los transectos se registran especies en las cavidades de los sustratos rocosos aislados, o comiendo en las zonas de corales y algas, formando grupos más o menos compactos constituidos por diferentes especies.

Para HB-T2 también se registró la especie *Bodianus rufus*, ya que estos fondos no reúnen características funcionales para sustentar poblaciones de peces, debido a la fuerte corriente y ausencia de refugios y nichos tróficos.

*Canthigaster rostrata* solo se ha registrado en el sitio HB-R15, con baja densidad e inferior al 5%.

#### 4.6.3. Análisis estructural de las comunidades de peces

Para medir la diversidad de las especies de peces en los sitios muestreados, se utilizó el Índice de diversidad de Shannon-Weaver, así como otros índices que estiman la estructura poblacional. El **Cuadro 15** muestra los valores obtenidos para los diferentes sitios.

| CUADRO 15. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS COMUNIDADES DE PECES |       |        |        |        |        |
|-------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| INDICES                                                     | HB-R3 | HB-R33 | HB-R12 | HB-R15 | HB-R18 |
| Taxa_S                                                      | 17    | 16     | 15     | 23     | 13     |
| Individuals                                                 | 110   | 100    | 95     | 115    | 65     |
| Dominance_D                                                 | 0,06  | 0,06   | 0,06   | 0,04   | 0,06   |
| Simpson_1-D                                                 | 0,94  | 0,94   | 0,94   | 0,96   | 0,94   |
| Shannon_H                                                   | 2,83  | 2,79   | 2,73   | 3,23   | 2,66   |
| Evenness_e^H/S                                              | 0,99  | 1,02   | 1,02   | 1,10   | 1,10   |
| Brillouin                                                   | 2,50  | 2,46   | 2,40   | 2,82   | 2,26   |
| Menhinick                                                   | 1,62  | 1,60   | 1,54   | 2,15   | 1,61   |
| Margalef                                                    | 3,40  | 3,26   | 3,07   | 4,64   | 2,88   |
| Equitability_J                                              | 1,00  | 1,01   | 1,01   | 1,03   | 1,04   |

La diversidad de especies se ha mantenido muy similar entre los diferentes sitios de monitoreo (2,66-3,23), con el mayor valor en el sitio somero HB-R15 (3,23).

La riqueza (nº especies e individuos), así como la cantidad de individuos e incremento del tamaño de las especies observadas, coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe (BOHLKE, et al 1993, BUSSING, 1987 y BUSSING, W.A. 1998), en las cuales la mayor cantidad y diversidad de individuos ícticos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies.

De estos índices estructurales se puede interferir que la comunidad de peces en la zona de Punta Rincón presenta una alta diversidad de especies, con la dominancia de pocas especies y una densidad moderada, mayor en las zonas someras. El resto de los índices estructurales se mantienen en rangos similares y complementan lo observado para la diversidad y riqueza de especies.

Para los sitios de monitoreo HB-T1 y HB-T2 no se han incluido el resultado de los índices estructurales ya que, en HB-T1 no se registró ninguna especie y solo en HB-T2 se registró una única especie. Ya se comentó que estos sitios no reúnen condiciones de hábitats y no cuentan con recursos tróficos para mantener una población estable de peces.

#### 4.6.4. Evolución temporal de las comunidades de peces

En los **Gráficos 16 al 18** se muestra la evolución temporal de los principales índices de la comunidad de peces (densidad, diversidad y riqueza).

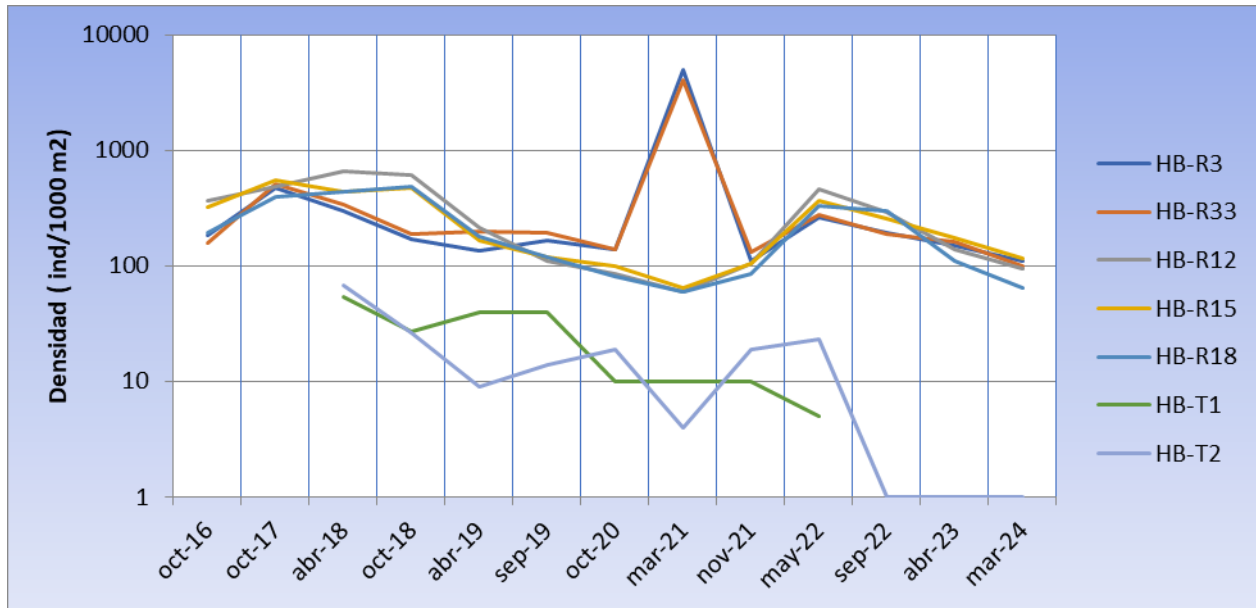


Gráfico 16. Evolución temporal de la densidad de la comunidad de peces. Periodo 2016-2024.

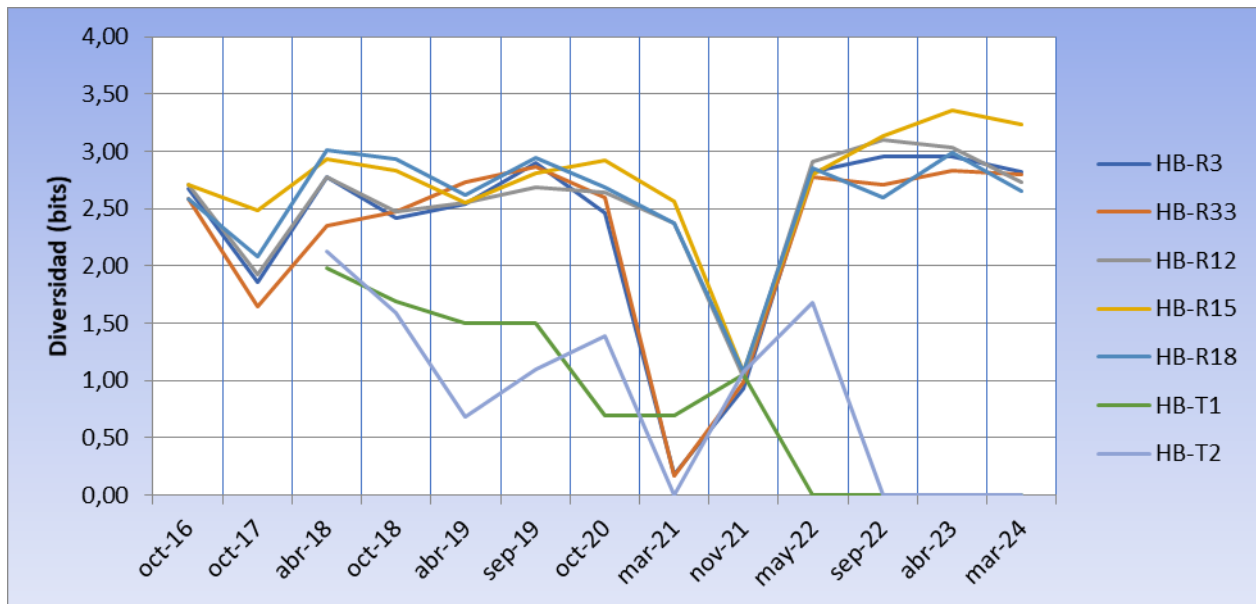


Gráfico 17. Evolución temporal de la diversidad de la comunidad de peces. Periodo 2016-2024.



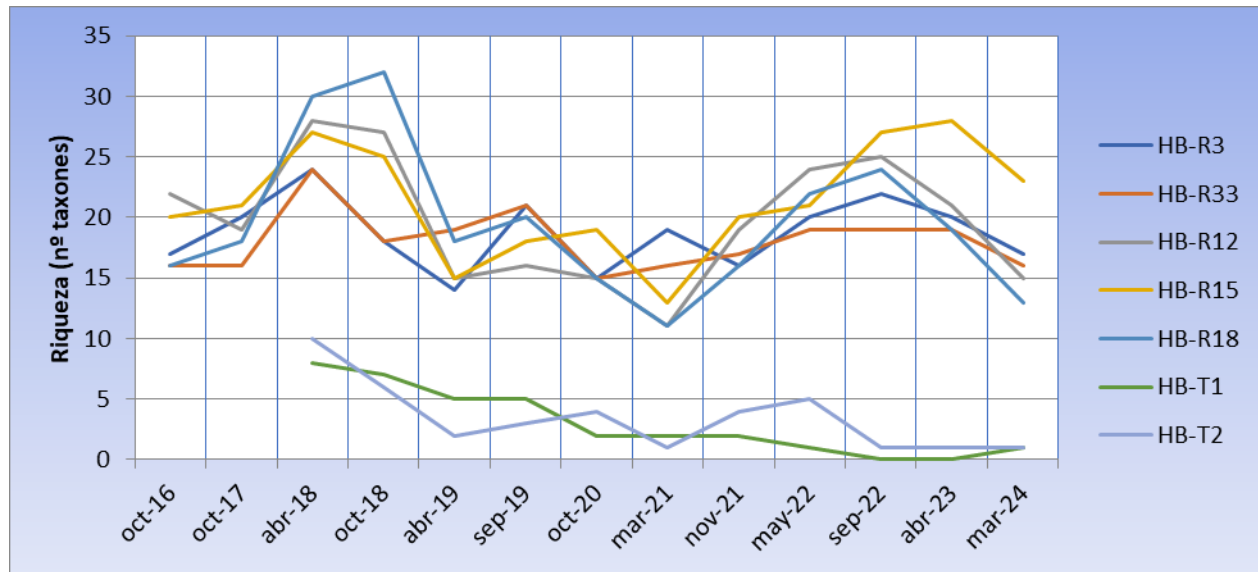


Gráfico 18. Evolución temporal de la riqueza de la comunidad de peces. Periodo 2016-2024.

Los valores de densidad de peces se han mantenido a lo largo del tiempo en todos los sitios de monitoreo dentro de rangos estables. La diversidad tuvo un descenso importante en marzo de 2021, debido a que el monitoreo coincidió con un Bloom del tamborín narizón, que hizo descender bruscamente este indicador. Por su parte, la riqueza de especies también se ha mantenido en rangos estables, con pequeñas variaciones propias de las comunidades de peces.

A partir de los resultados obtenidos a lo largo del tiempo, se puede inferir que las comunidades de peces se mantienen estables, con oscilaciones de los indicadores propios de la estructura y estacionalidad, sin que se hayan observado por el momento efectos debidos a factores externos (sobrepesca, contaminación, alteración de hábitats, etc).

Por lo tanto, se puede inferir que las condiciones actuales de los fondos profundos y someros son favorables para la comunidad ictiológica presente en estos sitios –con excepción de HB-T1 y HB-T2-, donde estas comunidades juegan un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. No se han observado efectos debido a las actividades de la mina o del puerto.

#### 4.6.5. Estudio de las poblaciones de pez león (*Pterois volitans*)

En el **Cuadro 16** y **Gráfico 19** se resumen, para los años 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024 las observaciones de pez león (*Pterois volitans*) en ind/10<sup>3</sup> m<sup>2</sup> para los transectos evaluados en el fondo somero (HB-R12, HB-R15 y HB-R18) y fondo profundo (HB-R3 y HB-R33) en donde se realiza su seguimiento.

| CUADRO 16. DENSIDADES (IND/m <sup>2</sup> ) DE PEZ LEÓN EN LOS DIFERENTES AÑOS DE MONITOREO |       |        |        |        |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| AÑO                                                                                         | HB-R3 | HB-R33 | HB-R12 | HB-R15 | HB-R18 |
| 2016                                                                                        | 20    | 10     | 5      | 25     | 20     |
| 2017                                                                                        | 15    | 20     | 10     | 6      | 5      |
| 2018-1S                                                                                     | 20    | 20     | 10     | 25     | 5      |
| 2018-2S                                                                                     | 10    | 15     | 10     | 20     | 5      |
| 2019-1S                                                                                     | 10    | 10     | 5      | 0      | 0      |
| 2019-2S                                                                                     | 5     | 5      | 5      | 0      | 5      |
| 2020-2S                                                                                     | 5     | 5      | 10     | 5      | 5      |
| 2021-1S                                                                                     | 5     | 5      | 5      | 5      | 5      |
| 2021-2S                                                                                     | 5     | 5      | 10     | 5      | 5      |
| 2022-1S                                                                                     | 15    | 15     | 15     | 25     | 5      |
| 2022-2S                                                                                     | 20    | 20     | 15     | 5      | 5      |
| 2023-1S                                                                                     | 10    | 20     | 15     | 10     | 5      |
| 2024                                                                                        | 10    | 10     | 10     | 5      | 5      |

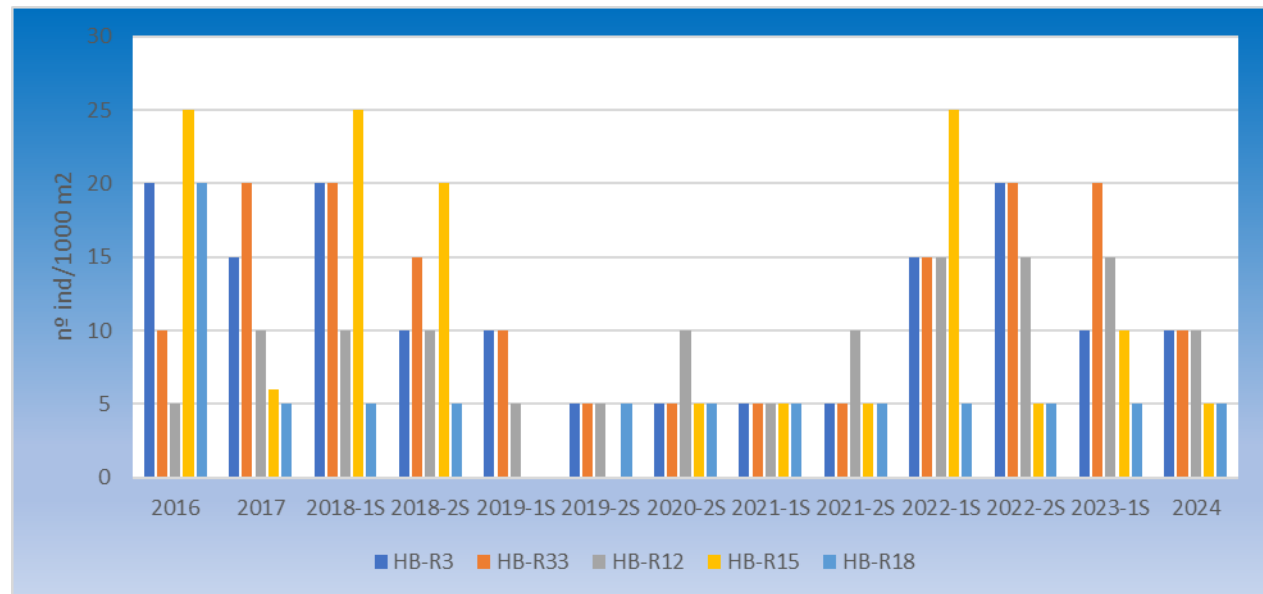


Gráfico 19. Evolución de los efectivos de pez león (*Pterois volitans*) en los diferentes sitios y años de monitoreo.

La abundancia relativa de esta especie en el presente monitoreo fue de 5-10% para el fondo somero y de 10% para el fondo profundo. Se observa que la especie ha registrado porcentajes y densidades muy variables, con un mayor número entre los años 2016 y 2018 y el año 2023 y, con menor densidad, en los años 2019-2021. Aparentemente, la población ha llegado a su estabilidad poblacional en la zona.



*Presencia de pez león en fondos profundos HB-R3.*



*Presencia de pez león en fondos profundos HB-R3, con presencia de langosta (*Panulirus argus*).*

#### 4.6.6. Estudio de las poblaciones de tamborín narizón (*Canthigaster rostrata*)

En el **Cuadro 17** y **Gráfico 20** se resumen, para el período 2016-2024 las observaciones de tamborín narizón (*Canthigaster rostrata*) en ind/10<sup>3</sup> m<sup>2</sup> para los transectos evaluados en el fondo somero (HB-R12, HB-R15 y HB-R18) y fondo profundo (HB-R3 y HB-R33) en donde se realiza su seguimiento.

| CUADRO 17. DENSIDADES (IND/m <sup>2</sup> ) DE TAMBORIL EN LOS DIFERENTES AÑOS DE MONITOREO |       |        |        |        |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| AÑO                                                                                         | HB-R3 | HB-R33 | HB-R12 | HB-R15 | HB-R18 |
| 2016                                                                                        | 15    | 5      | 10     | 5      | 5      |
| 2017                                                                                        | 25    | 30     | 25     | 15     | 15     |
| 2018-1S                                                                                     | 20    | 40     | 25     | 20     | 15     |
| 2018-2S                                                                                     | 25    | 40     | 25     | 20     | 15     |
| 2019-1S                                                                                     | 10    | 5      | 5      | 0      | 0      |
| 2019-2S                                                                                     | 15    | 10     | 5      | 0      | 5      |
| 2020-2S                                                                                     | 16000 | 18400  | 12000  | 16800  | 14400  |
| 2021-1S                                                                                     | 4800  | 4000   | 10     | 5      | 10     |
| 2021-2S                                                                                     | 15500 | 16600  | 13500  | 14200  | 11200  |
| 2022-1S                                                                                     | 0     | 0      | 0      | 0      | 5      |
| 2022-2S                                                                                     | 0     | 0      | 0      | 0      | 0      |
| 2023-1S                                                                                     | 5     | 10     | 5      | 5      | 10     |
| 2024                                                                                        | 5     | 0      | 0      | 5      | 0      |

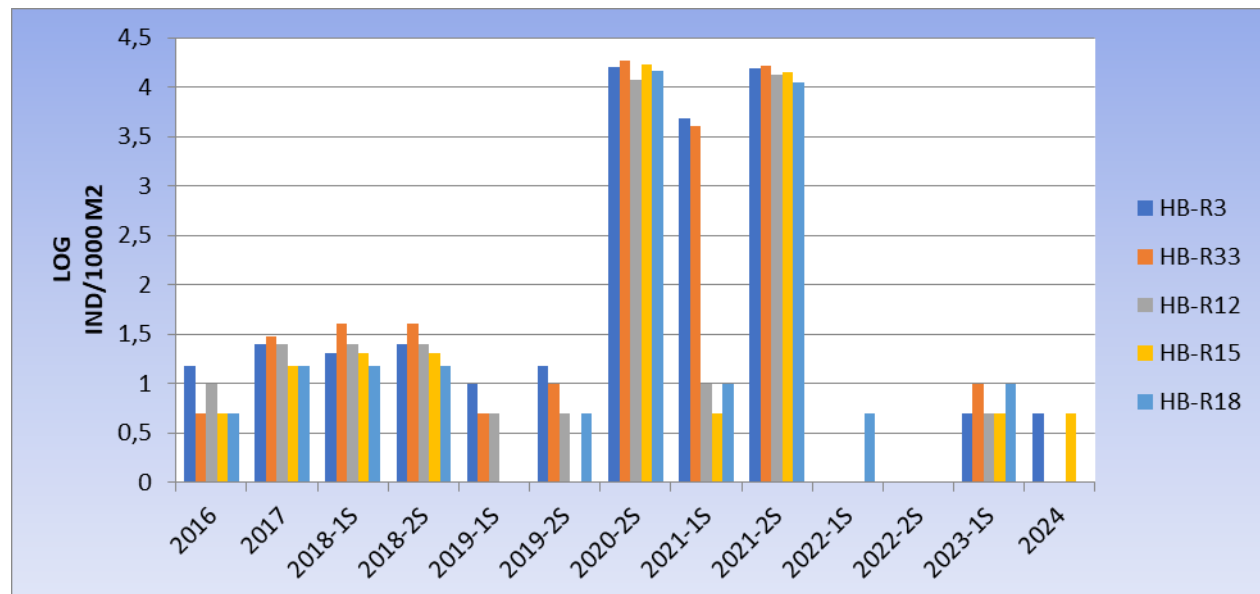


Gráfico 20. Evolución de los efectivos de tamborín narizón (*Canthigaster rostrata*) en los diferentes sitios y años de monitoreo, expresado como log ind/1000 m<sup>2</sup>.

Durante este monitoreo se han registrado muy pocos individuos de tamboril (inferior al 5%) únicamente en los sitios HB-R3 y HB-R15. Se destaca que los resultados en el gráfico solo expresan los obtenidos en los monitoreos marino-costeros, no recogiendo otros *blooms* que ha tenido la especie durante estos años.

## 5. RESULTADOS DEL ESTUDIO DEL ROMPEOLAS

El objetivo de este estudio específico es realizar la caracterización de las comunidades biológicas de fondos duros y peces, así como la toma de muestras de agua en el rompeolas que se ha construido para el puerto de Punta Rincón.

El monitoreo y seguimiento de la evolución temporal en los procesos de colonización de las comunidades biológicas de las rocas depositadas para el rompeolas, permitirá evaluar la utilidad de estos espacios como hábitats artificiales. De ser así, estos nuevos hábitats contribuirán a una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas en la zona de afección del puerto.

### 5.1. Estudio de fondos duros

Los resultados de cobertura (%) de las diferentes formaciones biológicas que colonizan el rompeolas se recoge en el **Cuadro 18**.

| CUADRO 18. COBERTURA (%) DE LOS GRUPOS BIOLÓGICOS EN EL ROMPEOLAS |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| GRUPOS BIOLÓGICOS                                                 | RO1  | RO2  | RO3  | RO7  | RO4  | RO5  | RO6  |
| Corales                                                           | 0,2  | 0,1  | 0,0  | 2,0  | 3,0  | 9,0  | 7,0  |
| Gorgóneas                                                         | 0.00 | 0.00 | 0,6  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Esponjas                                                          | 0.00 | 0.00 | 0,00 | 0.00 | 1,0  | 0.00 | 1,0  |
| Zoántidos                                                         | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Macroalgas                                                        | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Otras formas de vida                                              | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Coral con algas muertas                                           | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Algas coralinas                                                   | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0,5  | 1,0  | 1,0  | 3,5  |
| Corales enfermos                                                  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0,0  | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Piedras                                                           | 99,8 | 99,9 | 99,4 | 96,5 | 94,5 | 89,0 | 87,5 |
| Desconocidos                                                      | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1,0  | 0,5  | 1,0  | 1,0  |

Las variaciones son ligeramente positivas, con un aumento paulatino de las coberturas de las principales formaciones (corales, esponjas, etc) del orden de 0,05-0,1% cada año.

### Corales

El sitio de muestreo RO5 presenta la mayor cobertura de corales con 9,0%, similar a la anterior campaña, seguido del RO6 con un 7,0% (aumentó ligeramente con respecto a la anterior campaña) y el RO4 con un 3,0%, los tres pertenecientes a los sitios internos y menos expuestos a mar abierto. En los sitios externos -RO1, RO2 y RO3- se han registrado colonias de coral, aunque con formaciones muy iniciales en primeras fases de colonización y de pequeño tamaño. Los corales formados aparecen solo en la parte más interna del rompeolas, y están representados por colonias que deben adaptarse al embate de las corrientes, oleaje y a la sedimentación. Están mayoritariamente representados por especies pioneras, como *Agaricia agaricites* y el hidrocoral llamado coral fuego *Millepora complanata*, este último el más representativo de este tipo de fondos rocosos.



## Algas

No se registraron algas o formas coralinas presentes en este tipo de estructuras en ninguno de los transectos.

## Esponjas

Las esponjas tampoco fueron las más prosperas en cuanto a crecimiento y colonización de esta estructura; solo el transecto RO4 y RO6 presentó una cobertura de 1,0% de la especie *Cliona* sp., el resto no presentó cobertura alguna.

## Desconocidos y otras formas de vida

Entre los “desconocidos y otras formas de vida” se encuentran las Ascidias y los invertebrados marinos como cangrejos, moluscos incrustantes en las rocas como ostiones crustáceos, *Balaunus* sp con muy bajas proporciones.

En el **Gráfico 21** se ha representado la cobertura (%) de cada formación biológica en los diferentes transectos en el rompeolas. Se destaca una mayor cobertura de arena que está cubriendo y colmatando la zona de rompeolas en la parte externa, principalmente en RO1, RO2 y RO3.

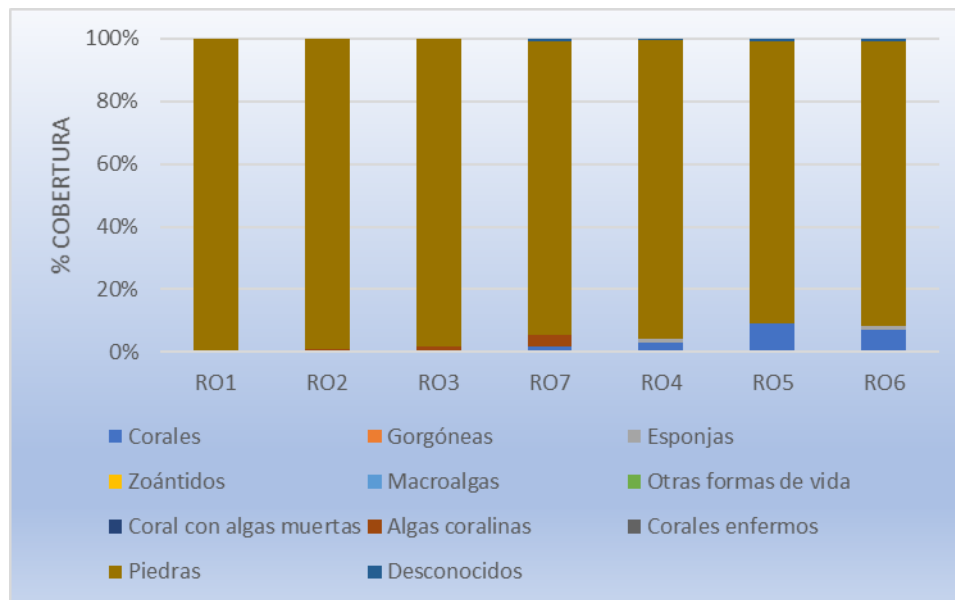
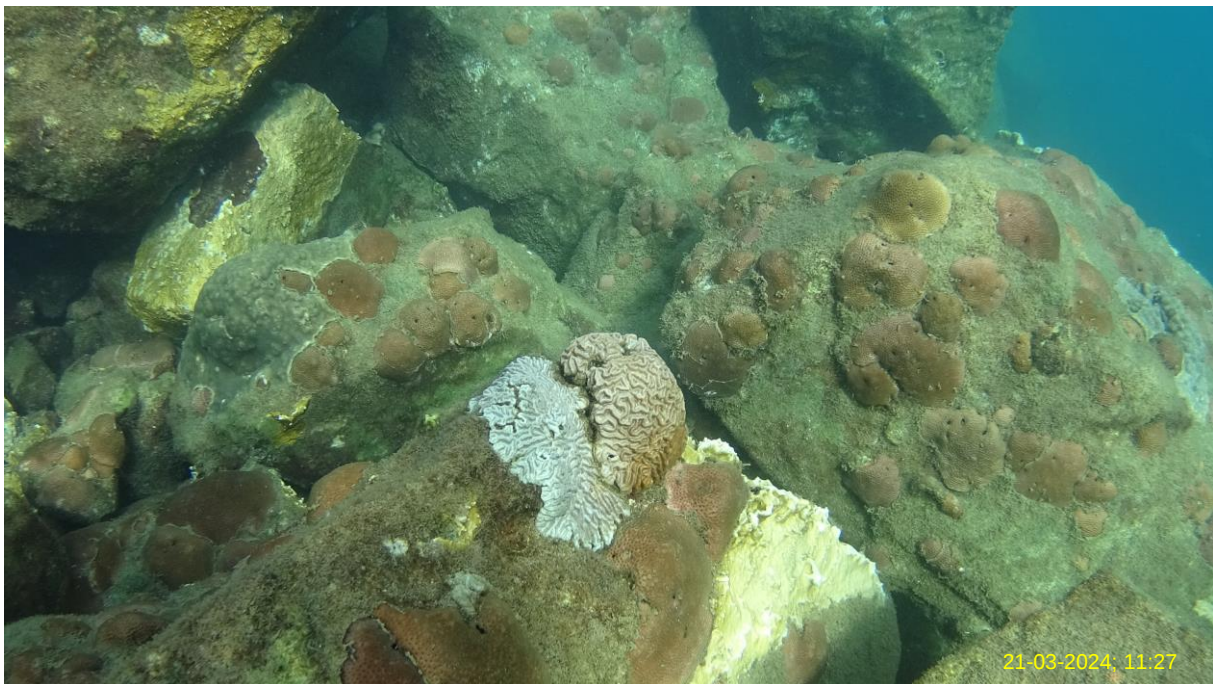


Gráfico 21. Cobertura (%) de las formaciones biológicas en los transectos del rompeolas.





*Paulatina colonización de las piedras internas del rompeolas por formaciones de coral (Agaricia sp. y Millepora sp.).*

## 5.2. Estudio de la comunidad de peces

Para el estudio de las comunidades de peces indicadores (composición, abundancia y diversidad de especies de peces) en el rompeolas, se siguieron dos tipos de transectos o secciones principales, uno en la zona externa entre los sitios (RO1, RO2, RO3 y RO7) y otro en la parte interna entre los sitios (RO4, RO5 y RO6). Los resultados obtenidos de composición y densidad estimada (ind/10<sup>3</sup> m<sup>2</sup>) de peces en estos transectos se resumen en el **Cuadro 19**.

| CUADRO 19. DENSIDAD DE PECES EN EL ROMPEOLAS |                                                          |         |         |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------|---------|
| FAMILIA                                      | ESPECIE                                                  | Externo | Interno |
| Acanthuridae (cirujanos)                     | <i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855               | 5       | 10      |
|                                              | <i>Acanthurus chirurgus</i> (Bloch, 1787)                | 5       | 10      |
| Carangidae (jureles)                         | <i>Carangoides bartholomaei</i> (Cuvier, 1833)           | 10      | 15      |
| Scorpionidae (peces escorpión)               | <i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758)                 | 5       | 5       |
| Haemulidae (roncador)                        | <i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus, 1758)           | 0       | 10      |
| Kyphosidae (chopas)                          | <i>Kyphosus sectatrix</i> (Linnaeus, 1758)               | 5       | 30      |
| Labridae (labridos)                          | <i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)                   | 0       | 10      |
|                                              | <i>Halichoeres chierchiae</i>                            | 0       | 5       |
|                                              | <i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791)              | 5       | 5       |
| Lutjanidae (pargos)                          | <i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)                  | 0       | 10      |
|                                              | <i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)                | 0       | 5       |
| Pomacanthidae (angeles)                      | <i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)                    | 0       | 10      |
| Pomacentridae (dama)                         | <i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)              | 0       | 5       |
|                                              | <i>Stegastes diencaeus</i> (Jordan & Rutter, 1897)       | 0       | 10      |
|                                              | <i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)            | 0       | 20      |
|                                              | <i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830)           | 0       | 15      |
| Scaridae (loros)                             | <i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)               | 10      | 10      |
| Sparidae (cabezón)                           | <i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)         | 5       | 5       |
| Sphyrnidae (Barracuda)                       | <i>Sphyrna barracuda</i> (Edwards in Casteby, 1171)      | 0       | 5       |
| Tetraodontidae (tamboril)                    | <i>Canthigaster rostrata</i> (Bloch, 1786)               | 0       | 0       |
| Dasyatidae                                   | <i>Hypanus americanus</i> (Hildebrand & Schroeder, 1928) | 5       | 30      |
| TOTAL                                        |                                                          | 55      | 225     |

De esta forma, para el rompeolas se censó un total de 280 individuos, pertenecientes a 21 especies de peces indicatoras. De estas especies, 9 fueron observadas asociadas al transecto externo del rompeolas y 20 especies asociadas en la parte interna del mismo.

En el **Gráfico 22** se representa la distribución porcentual de las especies, tanto en la parte externa, como interna del rompe olas.

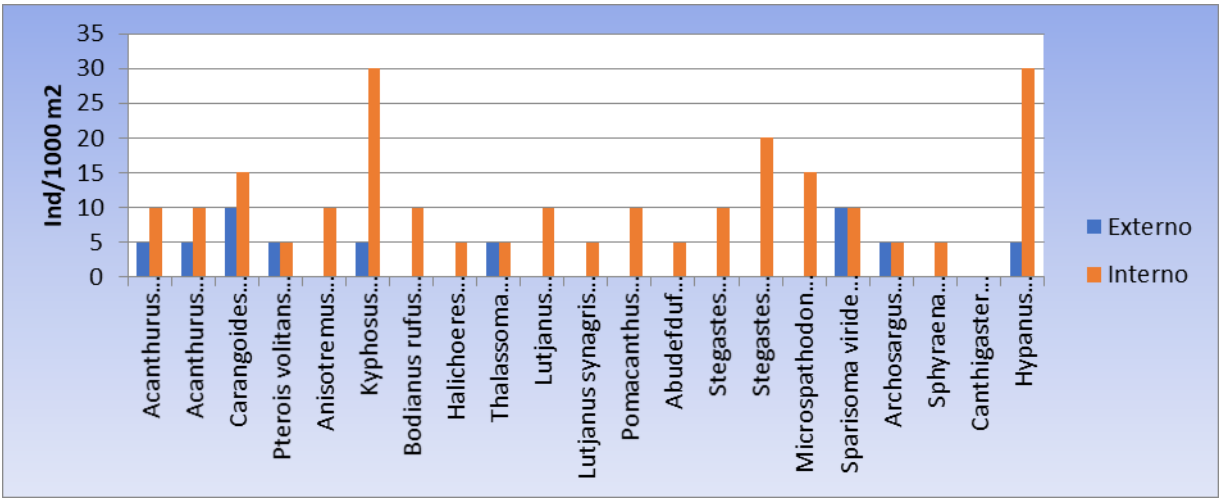


Gráfico 22. Distribución porcentual de las principales especies de peces en los transectos externos e internos del rompeolas.

Destacan las especies que se encuentran en el resto de los sitios monitoreados, como *Acanthurus bahianus*, *Carangoides bartholomei*, *Kyphosus sectatrix* (Linnaeus, 1758), *Stegastes variabilis* (Castelnau, 1855), *Sparisoma viride* (Bonnaterre, 1788) y *Archosargus rhomboidalis* (Linnaeus, 1758), todas con porcentajes mayores en la zona interna del rompeolas.

La especie *Kyphosus sectatrix* (Linnaeus, 1758) es la que presenta un mayor porcentaje de presencia en el rompeolas interno (13,3%), constituyendo cardúmenes de varios individuos que se desplazan por toda la zona interna en busca de alimento. Le siguen *Stegastes variabilis* (Castelnau, 1855) y *Carangoides bartholomaei* (Cuvier, 1833) con porcentajes variables del 6-8%.

En el rompeolas externos, dominan *Carangoides bartholomaei* (Cuvier, 1833) y *Sparisoma viride* (Bonnaterre, 1788), con un 18% del total registrado.

Para medir la diversidad de las especies de peces en los sitios muestreados, se utilizó principalmente el Índice de Diversidad de Shannon-Weaver, así como otros índices que dan una idea de la estructura de la comunidad. El índice Shannon-Weaver expresa la abundancia relativa con que cada especie contribuye en la comunidad. En el **Cuadro 20** se resumen estos índices.

| CUADRO 20. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LAS COMUNIDADES DE PECES EN EL ROMPEOLAS |                     |                         |                |               |          |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|---------------|----------|-------------------|
| ESTACIONES                                                                  | TRANSECTO           | Diversidad Shannon (H') | Dominancia (D) | Simpson (1-D) | Margalef | Equitabilidad (J) |
| Externas                                                                    | RO1, RO2, RO3 y RO7 | 2,22                    | 0,11           | 0,89          | 2,0      | 1,01              |
| Internas                                                                    | RO4, RO5 y RO6      | 2,86                    | 0,07           | 0,93          | 3,51     | 0,95              |



Durante este monitoreo se ha observado una clara diferencia entre la zona externa e interna del rompeolas. Se destaca la mayor riqueza, densidad y diversidad de especies en la parte interna respecto a la externa, indicativo de una comunidad íctica mejor estructurada y más diversa en los transectos del interior del rompeolas y no expuestos a mar abierto. La comunidad de peces en el interior del rompeolas se puede considerar de gran valor ambiental, con especies y densidades propias de aguas litorales con elevada biodiversidad del Caribe.

Los peces registrados muestran una diversidad y composición similar en todos los sitios de estudio, por lo que se puede inferir que las condiciones actuales de los fondos profundos, someros y rompeolas favorecen el establecimiento de la comunidad ictiológica presente en estos sitios, donde desempeñan un rol ecológico fundamental en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. Adicional a esto, de las especies observadas, se puede indicar que coinciden con lo observado en diversas latitudes del Caribe, donde la mayor cantidad y diversidad de individuos de menor tamaño, se encuentran en las áreas costeras poco profundas, por ser estas zonas de crecimiento y desarrollo de dichas especies.

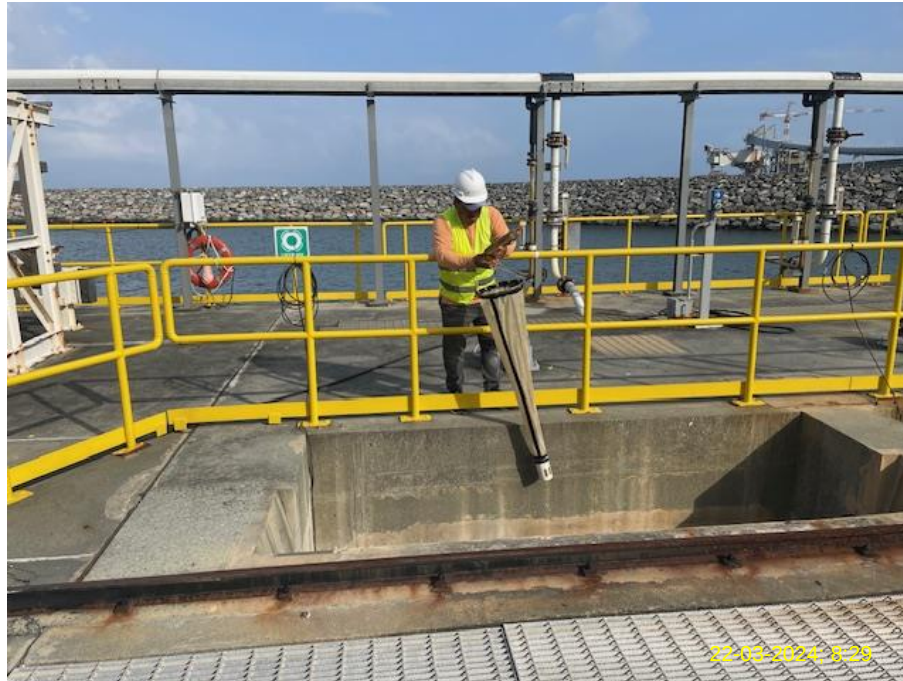
Se destaca el aporte significativo -desde el punto de vista ecológico- que representa el rompeolas, al permitir el establecimiento y hábitat agregador de las diferentes especies de peces que utilizan este sitio como zonas de refugio, alimentación y reproducción como parte de su ciclo de vida. Esta colonización está ligada a la que se ha observado en las comunidades del bentos duro en las piedras del rompeolas, con una clara colonización en las zonas expuestas y más superficiales.



*La parte interna del rompeolas está teniendo una fuerte colonización por diferentes grupos de peces que aumentan su biodiversidad. Kyphosus sectatrix forma cardúmenes con gran número de individuos.*

## 6. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE ICTIOPLANCTON EN EL INTAKE

Durante el monitoreo del mes de marzo de 2024, se ha completado un estudio del ictioplancton que entra en el intake de la central térmica de Punta Rincón, situada en el puerto interior. El estudio se ha centrado en la composición y abundancia de huevos y larvas de peces. Desde el punto de vista metodológico, con una bomba sumergible se bombeó durante dos muestreos (IN-1 e IN-2) durante 10 min un volumen conocido de agua a través de una red tipo bongo de 500 micras.



Realización de muestreos con bomba en el intake para el estudio del ictioplancton.

Para el cálculo del volumen filtrado, se empleó la siguiente fórmula:

$$VF (m^3) = \text{Caudal bomba (m}^3/\text{s)} \times \text{tiempo bombeo (s)}$$

Los resultados obtenidos se incluyen en el **Cuadro 21**.

| CUADRO 21. DENSIDAD DE HUEVOS Y LARVAS DE PEHB-CES EN EL INTAKE |                           |                           |                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CÓDIGO MUESTRA                                                  | HUEVOS Ind/m <sup>3</sup> | LARVAS Ind/m <sup>3</sup> | COMPOSICIÓN DE PRINCIPALES ESPECIES EN LAS LARVAS                                                                                                                     |
| IN-1                                                            | 35                        | 29                        | <i>Acanthurus bahianus</i> (34%), <i>Carangoides bartolomaei</i> (20%), <i>Lutjanus synagris</i> y <i>Anisotremus virginicus</i> (<10%).                              |
| IN-2                                                            | 30                        | 24                        | <i>Acanthurus bahianus</i> (34%), <i>Carangoides bartolomaei</i> (17%), <i>Anisotremus virginicus</i> , <i>Acanthurus chirurgus</i> y <i>Pomacanthus paru</i> (<10%). |

En el **Gráfico 23** se incluye la representación porcentual de las diferentes especies del ictioplancton (larvas) registradas en cada muestra.

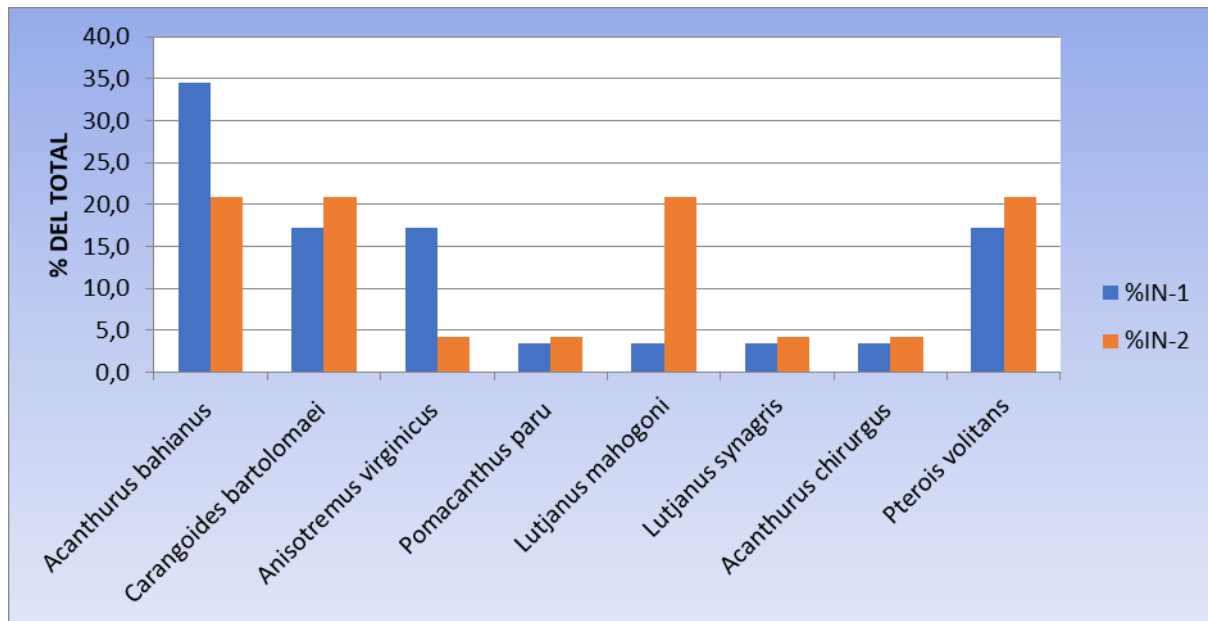


Gráfico 23. Representación porcentual (%) de cada especie del ictioplancton (larvas) en las muestras recolectadas en el intake.

Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo (24-29 ind/m<sup>3</sup> para larvas y 30-35 ind/m<sup>3</sup> para huevos), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m<sup>3</sup> para huevos y de 30-50 ind/m<sup>3</sup> para larvas en el Caribe.

Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Destacan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomaei*, de bajo valor pesquero y comercial en la zona y que representa porcentajes que llegan al 50%.

El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes muy bajos e inferiores al 10%. Son especies muy comunes en las zonas tropicales y el Caribe, con un bajo valor pesquero y económico, no siendo objeto de explotación pesquera por las comunidades locales.

En otros estudios similares, como el realizado por Cubillos (2015)<sup>5</sup> en dónde se evaluó el impacto potencial de la mortalidad por succión de huevos de sardina común y anchoveta, debido a la operación del Penco- 3/h, con un promedio anual de 43,82 huevos/m<sup>3</sup> y 9,08 larvas/m<sup>3</sup> succionados. Al aplicar el modelo, y suponiendo el 100 % de biomasa perdida, la

<sup>5</sup> Luis Cubillos, 2015. Estimación del impacto del arrastre de huevos y larvas de sardina común y anchoveta por succión sobre el rendimiento pesquero huevo-equivalente. Proyecto terminal GNL Penco-Lirquén.



magnitud promedio de la biomasa pérdida huevo-equivalente en un año fluctuó entre 22,2 y 29,95 toneladas de anchoveta, valores equivalentes en biomasa total por año de 266,46 y 359,38 toneladas de anchoveta.

En el presente estudio, se puede concluir que las cantidades removidas por la toma de agua resultan ser insignificantes. En el caso de la toma en Punta Rincón, al ser menores las densidades de larvas y huevos captados por el intake, al mismo tiempo que el volumen de agua que se capta, el impacto sobre estos componentes de la biocenosis íctica también resulta ser insignificantes.

En el **Gráfico 24** se ha representado la evolución de la densidad de larvas (ind/m<sup>3</sup>) a lo largo de los últimos tres años. Como se puede comprobar, los valores de densidad han variado muy poco, aunque con un ligero crecimiento, manteniéndose las capturas por el intake dentro de un rango considerado como bajo.

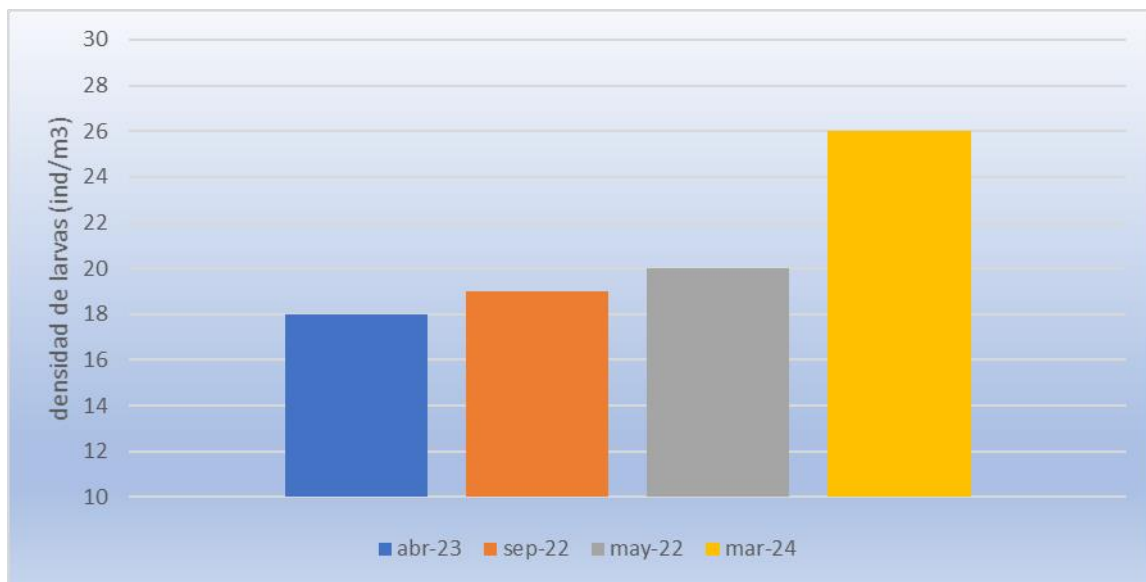


Gráfico 24. Evolución temporal de la densidad de larvas medidas en el intake.

## 7. ANÁLISIS DE INDICADORES AMBIENTALES

Se ha procedido en el presente capítulo al análisis de los indicadores ambientales que se vienen empleando de forma rutinaria en el EEA, como una herramienta para el seguimiento de las condiciones de calidad de los ecosistemas marino-costeros a partir de la integración de diferentes índices de calidad.

Los indicadores empleados se recogen en el **Cuadro 22**.

| CUADRO 22. INDICADORES AMBIENTALES SELECCIONADOS PARA EL SEGUIMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS |                                                                                                                                                    |                         |                         |                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| SUBCOMPONENTE DEL PROGRAMA                                                                              | INDICADOR                                                                                                                                          | FRECUENCIA DE MEDICIÓN* | FRECUENCIA DE INFORMES* | PERIDO DE TOMA DE DATOS |
| Flora y Fauna                                                                                           | Densidad y riqueza de especies del bentos marino                                                                                                   | Anual                   | Anual                   | Marzo                   |
|                                                                                                         | Índice de diversidad del bentos marino                                                                                                             | Anual                   | Anual                   | Marzo                   |
|                                                                                                         | Densidad y riqueza de especies de peces                                                                                                            | Anual                   | Anual                   | Marzo                   |
| Criterios Físico y Químicos                                                                             | pH, temperatura, conductividad específica, Oxígeno disuelto, turbiedad, temperatura, metales disueltos, nutrientes en agua y metales en sedimentos | Anual                   | Anual                   | Marzo                   |
|                                                                                                         | Índice mg de elemento / Kg de tejido en peces, donde el elemento de interés son los metales pesados                                                | Anual                   | Anual                   | Marzo                   |

\*Para esta etapa de Cuido y Mantenimiento.

Dado que los resultados obtenidos para cada elemento y variable estudiada están ampliamente desarrollados en los distintos apartados del estudio, con el fin de resumir e interpretar estos resultados de la forma más sencilla posible, se ha utilizado una simbología que indica la tendencia de cada indicador en el tiempo en comparación con las condiciones de referencia y línea de base del año 2015<sup>6</sup>.

La simbología y significado empleado para valorar la tendencia de cada grupo de indicadores ambientales se recoge en el **Cuadro 23**.

| CUADRO 23. SÍMBOLOS EMPLEADOS PARA INDICAR LA TENDENCIA DE LOS INDICADORES |                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| SIMBOLOGÍA                                                                 | INTERPRETACIÓN DE LA TENDENCIA                                  |
| ↑                                                                          | El valor del indicador tiende a subir, las condiciones mejoran  |
| →                                                                          | Se mantiene el valor del indicador, las condiciones no varían   |
| ↓                                                                          | El valor del indicador tiende a bajar, las condiciones empeoran |

La comparación en la tendencia de los indicadores para los diferentes años de monitoreo se resume en el **Cuadro 24**.

Teniendo en cuenta el análisis realizado, se puede señalar que la tendencia de los cinco indicadores comparados entre la línea base de los años 2015, 2016, 2017, 2018-1S, 2018-2S, 2019-1S, 2019-2S, 2020, 2021-1S, 2021-2S, 2022-1S, 2022-2S, 2023-1S y 2024 indican variaciones poco significativas entre los mismos.

Las pequeñas variaciones registradas entre los dos monitoreos están más relacionadas con el sesgo asociado a este tipo de muestreo (errores aleatorios y sistemáticos relacionados con las técnicas de muestreo, época de estudio y condiciones ambientales y oceanográficas) que con los posibles efectos derivados de las actividades del puerto y de la mina.

En conclusión, las condiciones generales analizadas han variado de forma muy poco significativa, no apreciándose una tendencia a desmejorar la salud de los ecosistemas acuáticos (abióticos y bióticos) asociados con las actividades de de la mina y el puerto.

<sup>6</sup> La comparación entre los valores brutos obtenidos de cada indicador puede dar lugar a errores debidos a las variaciones en las metodologías empleadas y cambios en las condiciones de los muestreos.

| CUADRO 24. EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 2015-2024 |                  |       |        |        |        |        |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| INDICADORES                                                                 | AÑO DE MONITOREO | HB-R3 | HB-R33 | HB-R12 | HB-R15 | HB-R18 | HB-CE | HB-T1 | HB-T2 |
| <b>INDICADOR 1</b><br>(Densidad y riqueza del bentos marino)                | 2015             | →     | →      | →      | →      | →      | →     | (2)   | (2)   |
|                                                                             | 2016             | →     | →      | →      | →      | →      | →     | (2)   | (2)   |
|                                                                             | 2017             | →     | →      | →      | →      | →      | →     | (2)   | (2)   |
|                                                                             | 2018 1 y 2       | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2019 1 y 2       | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2020-1           | ↑     | ↑      | ↑      | ↑      | ↑      | ↑     | →     | →     |
|                                                                             | 2021-1           | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2021-2           | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2022-1           | ↑     | ↑      | ↑      | →      | ↑      | ↑     | ↑     | ↑     |
|                                                                             | 2022-2           | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2023-1           | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2024             | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
| <b>INDICADOR 2</b><br>(Índices diversidad del bentos marino)                | 2015             | →     | →      | →      | →      | →      | →     | (2)   | (2)   |
|                                                                             | 2016             | →     | →      | →      | →      | →      | →     | (2)   | (2)   |
|                                                                             | 2017             | →     | →      | →      | →      | →      | →     | (2)   | (2)   |
|                                                                             | 2018 1 y 2       | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2019 1 y 2       | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2020-1           | ↑     | ↑      | ↑      | ↑      | ↑      | ↑     | →     | →     |
|                                                                             | 2021-1           | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2021-2           | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2022-1           | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2022-2           | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2023-1           | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             | 2024             | →     | →      | →      | →      | →      | →     | →     | →     |
|                                                                             |                  |       |        |        |        |        |       |       |       |

| CUADRO 24. EVOLUCIÓN DE LOS INDICADORES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 2015-2024 |                  |       |        |        |        |        |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| INDICADORES                                                                 | AÑO DE MONITOREO | HB-R3 | HB-R33 | HB-R12 | HB-R15 | HB-R18 | HB-CE | HB-T1 | HB-T2 |
| <b>INDICADOR 3</b><br>(Densidad y riqueza de peces)                         | 2015             | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | (2)   | (2)   |
|                                                                             | 2016             | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | (2)   | (2)   |
|                                                                             | 2017             | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | (2)   | (2)   |
|                                                                             | 2018 1 y 2       | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | →     | →     |
|                                                                             | 2019 1 y 2       | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | →     | →     |
|                                                                             | 2020-1           | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | →     | →     |
|                                                                             | 2021-1           | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | →     | →     |
|                                                                             | 2021-2           | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | →     | →     |
|                                                                             | 2022-1           | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | ↓     | →     |
|                                                                             | 2022-2           | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | →     | →     |
|                                                                             | 2023-1           | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | →     | →     |
|                                                                             | 2024             | →     | →      | →      | →      | →      | (1)   | →     | →     |

NOTAS: (1). En este sitio de muestreo no se realizan estudios de peces. (2) En estos años no se realizaron monitoreos en HB-T1 y HB-T2.



## 8. ESTADO ECOLÓGICO

### 8.1. Justificación

El concepto de estado ecológico difiere sensiblemente del concepto de calidad del agua que se ha venido utilizando tradicionalmente, ya que mientras la calidad del agua expresa la mayor o menor potencialidad o aptitud del agua para dedicarla a un uso determinado (bebida, baño, riego, etc.), el estado ecológico es una expresión de la calidad de la estructura, biodiversidad y funcionamiento de los ecosistemas asociados a las aguas marinas (DMA, 2000).

Para evaluar el estado ecológico de un agua marina se emplean los elementos físico-químicos y biológicos, que en su conjunto describen cómo se comporta el ecosistema acuático frente a posibles impactos y si se han producido cambios en su estructura o funcionamiento como consecuencia de los mismos. A su vez, cada uno de estos elementos viene representado por uno o varios índices de calidad.

A diferencia de los análisis basados en cambios estructurales de las comunidades biológicas (número de especies, diversidad, etc) o de la concentración de determinados compuestos químicos, para evaluar posibles alteraciones en la calidad del agua, los índices de calidad se basan en el empleo de organismos indicadores o características del medio en el que habitan y, especialmente, en su sensibilidad a determinados efectos ambientales visibles macroscópicamente o microscópicamente. Proporcionan una información semi-cuantitativa sobre la contaminación de los ecosistemas acuático y permiten evaluar directamente el impacto ambiental de las actividades humanas.

### 8.2. Metodología

#### 8.2.1. Valoración del estado de calidad biológico

Para evaluar la calidad biológica del medio marino, se ha seleccionado como organismos indicadores al grupo del bentos marino. Para este grupo, se ha utilizado el programa AMBI (versión 6.0) que calcula el BC o Índice Biótico Marino de Azti. Este índice, desarrollado en el año 2000 por el Centro Tecnológico [AZTI-Tecnalia](#), y que ya ha tenido varias actualizaciones, está basado en paradigmas ecológicos que permiten establecer la calidad ecológica de las costas y estuarios a través de la asignación de las especies de los fondos marinos a uno de los cinco grupos ecológicos.

Incorpora un análisis multi-variante (M-AMBI) para el cálculo del estado ecológico en el medio marino para el índice IB. Estas herramientas exploran la respuesta de las comunidades del bentos a los cambios naturales y humanos en la calidad del agua, integrando condiciones medioambientales a largo plazo. Además de calcular el BC e IB, este programa representa gráficamente los datos y exporta los resultados. AMBI incluye más de 6.500 taxa representativos de las comunidades más importantes presentes en los estuarios y sistemas costeros de Europa, desde el Mar del Norte al Mediterráneo, e incluso de Norteamérica, Centroamérica, Sudamérica y sudeste asiático.

Esta clasificación se basa en la sensibilidad del bentos marino a un gradiente creciente de estrés, dividiendo a los organismos en cinco grupos:

- Grupo I: Especies muy sensibles al enriquecimiento orgánico y que se encuentran presentes en condiciones de ausencia de contaminación. Incluyen especies carnívoras especialistas y algunos Poliquetos tubícolas detritívoros (estado ecológico inicial).
- Grupo II: Especies a las que no les afecta en gran medida el enriquecimiento orgánico, siempre están presentes en bajas densidades sin variaciones significativas en el tiempo (desde el estado inicial a levemente desequilibrado).
- Grupo III: Especies tolerantes al exceso de materia orgánica. Estas especies pueden aparecer en condiciones normales, pero sus poblaciones aumentan con el enriquecimiento orgánico (circunstancias ambientales levemente desequilibradas). En estos ambientes abundan las especies detritívoras y Poliquetos de la familia Spionidae.
- Grupo IV: Especies oportunistas de segundo orden que aparecen en ambientes con episodios de contaminación importantes. Principalmente son Poliquetos de pequeño tamaño y depositívoros subsuperficiales como los Cirratúlidos.
- Grupo V: En áreas con pronunciados desequilibrios, contaminación elevada, suelen encontrarse especies oportunistas de segundo orden. Organismos detritívoros, que proliferan en sedimentos reducidos.

La distribución de los individuos clasificados, de acuerdo a su tolerancia al grado de contaminación (grupos ecológicos), permite calcular el índice BI con ocho niveles, de 0 a 7. Para establecer los límites de estos ocho niveles, se utiliza un coeficiente biótico BC basado en los porcentajes de cada uno de los cinco grupos ecológicos definidos anteriormente, aplicando la siguiente fórmula:

$$BC = \frac{\{(0 \cdot \% GI) + (1.5 \cdot \% GII) + (3 \cdot \% GIII) + (4.5 \cdot \% GIV) + (6 \cdot \% GV)\}}{100}$$

Este coeficiente calcula un resultado continuo con valores comprendidos entre 0 y 6. Los intervalos establecidos según BORJA et al. (2000) para delimitar el valor continuo que resulta del cálculo del coeficiente biótico (BC) que constituye el índice AMBI se resumen en el **Cuadro 25** adjunto.

CUADRO 25. SIGNIFICADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y ECOLÓGICA BC Y BI (Borja et al, 2000)

| GRADO DE CONTAMINACIÓN     | COEFICIENTE BIÓTICO (BC) | ÍNDICE BIÓTICO (BI) | GRUPO ECOLÓGICO DOMINANTE | ESTADO DE LA COMUNIDAD BENTÓNICA           |
|----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------------------------|
| No contaminado             | $0,0 < BC \leq 0,02$     | 0                   | I                         | Normal                                     |
| No contaminado             | $0,2 < BC \leq 1,2$      | 1                   |                           | Empobrecida                                |
| Ligeramente contaminado    | $1,2 < BC \leq 3,3$      | 2                   | III                       | Desequilibrada                             |
| Medianamente contaminado   | $3,3 < BC \leq 4,5$      | 3                   |                           | Estado de transición hacia contaminada     |
| Medianamente contaminado   | $4,5 < BC \leq 5,0$      | 4                   | IV-V                      | Contaminada                                |
| Fuertemente contaminado    | $5,0 < BC \leq 5,5$      | 5                   |                           | Estado de transición hacia muy contaminada |
| Fuertemente contaminado    | $5,5 < BC \leq 6,0$      | 6                   | V                         | Muy contaminada                            |
| Extremadamente contaminado | Azoico                   | 7                   | Azoico                    | Azoico                                     |

### 8.2.2. Valoración del estado de calidad físico-químico del agua y sedimento

Para valorar el estado de calidad de los parámetros físico-químicos en aguas y sedimento marinos se han comparado los resultados obtenidos en los valores de los diferentes parámetros de calidad de aguas con los límites legales que establece la normativa vigente en Panamá (Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008):

Cumple con los límites legales: ESTADO BUENO  
No Cumple con los límites legales: ESTADO MALO

Con objeto de valorar el grado de contaminación de los sedimentos (metales pesados) se ha empleado el protocolo del Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME). Así, se ha valorado el estado de calidad por comparación con los valores de referencia anteriores, al no existir en Panamá límites para metales pesados en sedimentos en aguas marinas.

Cumple con los valores de referencia canadiense: ESTADO BUENO  
No Cumple con los valores de referencia canadiense: ESTADO MALO

El estado de calidad MUY BUENO se alcanzaría solamente si los valores obtenidos para esas variables se encuentran por debajo de las concentraciones consideradas como fondo para aguas y sedimentos de zonas marinas similares.

### 8.2.3. Valoración del estado ecológico marino-costero

Una vez calculados los estados de calidad a partir de los elementos biológicos (bentos) y físico-químicos (agua y sedimento), para valorar y diagnosticar el estado ecológico final de los sitios de muestreo con todos los elementos en conjunto, se ha seguido el esquema de toma de decisiones basado en la metodología original propuesta por la Comisión Europea en el documento guía sobre clasificación del estado ecológico y adaptada en una Guía recientemente en España por el MITECO (2021).

De acuerdo con esta metodología, las aguas marino-costeras se clasifican en cinco clases en función de los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores biológicos y físico-químicos: muy bueno, bueno, moderado-aceptable, deficiente y malo. Para la clasificación del estado ecológico se parte, en principio, de los indicadores biológicos, apoyándose después tanto en las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos (ver **Figura 1**). En este caso, no se aplican los indicadores hidromorfológicos.

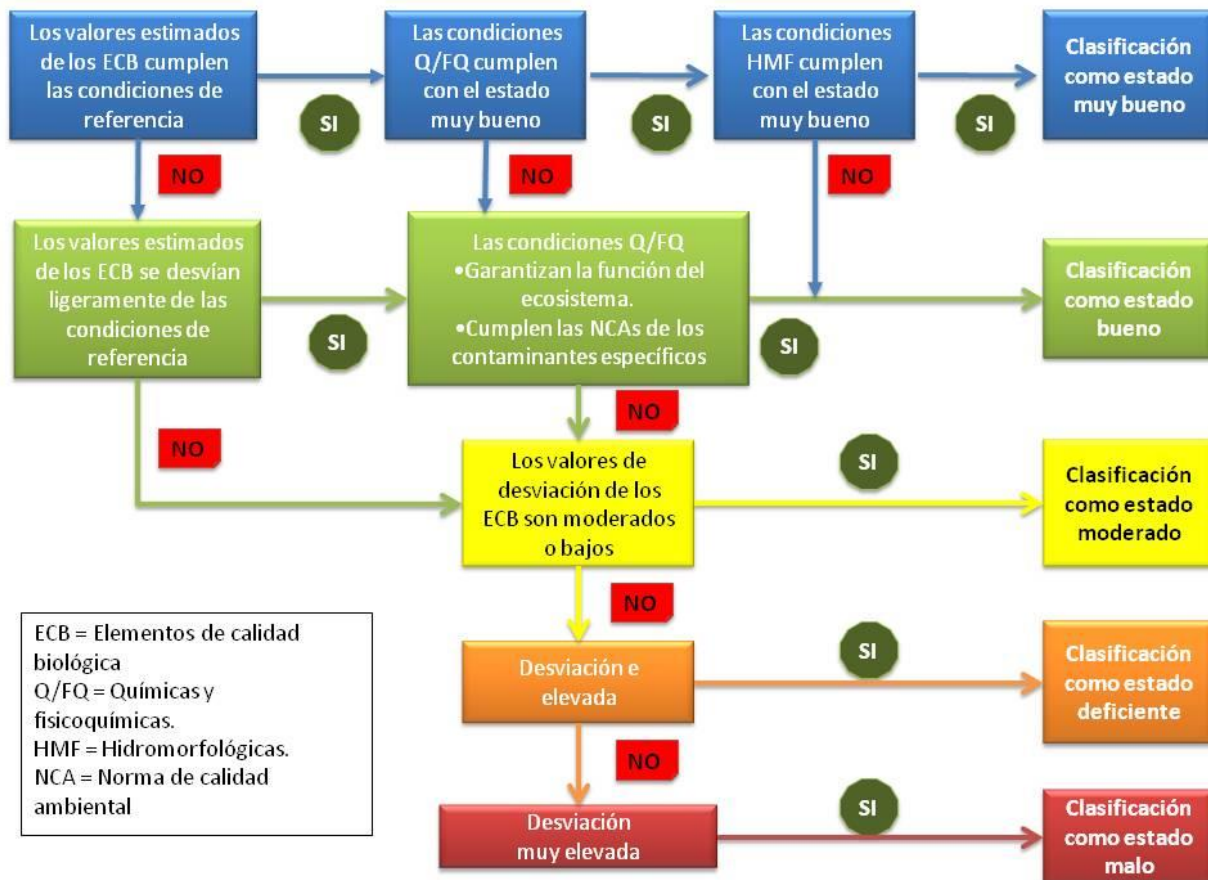


Figura 1. Metodología propuesta por el Grupo de Trabajo 2A de la Unión Europea en el Documento Guía número 13 sobre la clasificación del estado ecológico y adaptada por el MITECO (2021).

Para las condiciones físico-químicas del agua y sedimentos, se ha empleado como criterio el grado de cumplimiento de las normas de calidad que se han considerado<sup>7</sup>. Es decir, si se cumple el valor de referencia para el contaminante específico, la calidad es BUENA y garantizan la función del ecosistema, en caso contrario la calidad es MALA y no garantiza la funcionalidad del ecosistema.

En el apartado biológico, se completó el estado ecológico (EE) final con datos de bentos marino al ser los más representativos e integradores de los posibles efectos de la mina y el puerto. Sin embargo, cuando el estado ecológico se estima (mediante indicadores biológicos) como bueno o muy bueno, las condiciones físico-químicas entran en juego, pudiendo bajar la clasificación del estado ecológico a los niveles inferiores de bueno o moderado.

De forma individual para cada elemento de calidad, se ha seguido en la valoración el modelo más restrictivo. Es decir, se escoge de cada elemento como indicador o índice, de entre todos, aquel cuyo resultado ha sido la estima menos favorable en cada ocasión, según el principio “*uno fuera, todos fuera*”: Se ha denominado a este estado ecológico “restrictivo” como  $EE_{rest}$ , de tal manera que:

$$EE_{rest} = \text{Mínimo} (EE_{biol})$$

En resumen, para la clasificación del estado ecológico del medio marino-costero se han utilizado los siguientes elementos de calidad (QEs) y sus correspondientes índices de calidad:

- - QEs FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA Y SEDIMENTOS MARINOS
    - Calidad FQ. Físico-química del agua: temperatura, oxígeno disuelto, pH y turbidez.
    - Calidad QA: Química del agua: sólidos en suspensión y metales pesados
    - Calidad QS. Química del sedimento: metales pesados.
  - QEs BIOLÓGICOS
    - Calidad BB. Composición y abundancia del bentos marino. Índices BI y AMBI.

### 8.3. Resultados. Valoración del estado ecológico marino-costero

#### 8.3.1. Resultados del índice AMBI

Los resultados obtenidos por aplicación de los índices que calcula AMBI a los diferentes sitios de muestreo, considerando el bentos marino, se resumen en el **Cuadro 26**.

---

<sup>7</sup> Agua: Norma primaria de calidad ambiental y niveles de calidad para las aguas continentales de uso recreativo para la categoría “sin contacto directo”. Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008. Sedimentos: Protocolo del Consejo Canadiense del Ministerio del Ambiente (CCME). ”.

CUADRO 26. RESULTADOS DEL ÍNDICE AMBI Y ESTADO DE CALIDAD BIOLÓGICO

| SITIO DE MUESTREO | ÍNDICE AMBI | INDICE BIOTICO (BI) | SIGNIFICADO | ESTADO DE CALIDAD BIOLÓGICO |
|-------------------|-------------|---------------------|-------------|-----------------------------|
| HB-R3             | 0,947       | 1                   | No Alterado | MUY BUENO                   |
| HB-R33            | 1,162       | 1                   | No Alterado | MUY BUENO                   |
| HB-R12            | 0,823       | 1                   | No Alterado | MUY BUENO                   |
| HB-R15            | 0,676       | 1                   | No Alterado | MUY BUENO                   |
| HB-R18            | 1,013       | 1                   | No Alterado | MUY BUENO                   |
| HB-T1             | 0,604       | 2                   | No alterado | MUY BUENO                   |
| HB-T2             | 0,468       | 1                   | No Alterado | MUY BUENO                   |
| HB-CE             | 0,375       | 1                   | No Alterado | MUY BUENO                   |
| HB-E10            | 0,617       | 1                   | No Alterado | MUY BUENO                   |
| HB-E4             | 0,503       | 1                   | No Alterado | MUY BUENO                   |

Las comunidades del bentos estudiadas indican, a través de las especies sensibles que las forman, unas MUY BUENAS condiciones del medio marino, con valores de los índices que determina AMBI propios de sistemas no alterados.

Por consiguiente, las comunidades del bentos de fondos blandos carecen de efectos debidos a contaminación por aportes procedentes de las actividades de la mina y puerto, con especies características de estados no contaminados o alterdos y que presentan una organización estructural evolutiva propia de los ecosistemas en los que se desarrollan.

### 8.3.2. Resultados del estado físico-químico del agua y sedimento

Los resultados obtenidos con el fin de valorar el estado físico-químico del agua y sedimentos en los diferentes sitios de muestreo se resumen en el **Cuadro 27**.

Para el caso de los metales pesados sedimentos, cabe señalar que se ha considerado para valorar el grado de cumplimiento el límite de referencia establecido por el Consejo Canadiense de los Ministerios del Ambiente (CCME, 2001) para el valor de efectos probables (PEL, como mg/kg de materia como peso seco).



CUADRO 27. RESULTADOS DEL ESTADO DE CALIDAD FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA Y SEDIMENTOS

| SITIO DE MUESTREO | GRADO DE CUMPLIMIENTO AGUA | GRADO DE CUMPLIMIENTO SEDIMENTOS | ESTADO FÍSICO-QUÍMICO AGUA | ESTADO QUÍMICO SEDIMENTO |
|-------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| HB-R3             | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |
| HB-R33            | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |
| HB-R12            | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |
| HB-R15            | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |
| HB-R18            | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |
| HB-T1             | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |
| HB-T2             | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |
| HB-CE             | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |
| HB-E10            | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |
| HB-E4             | CUMPLE                     | CUMPLE                           | BUENO                      | BUENO                    |

Como se puede observar, los parámetros analizados cumplen con los límites legales establecidos en la legislación de referencia, con un estado de calidad valorado como BUENO.

### 8.3.3. Valoración final del estado ecológico del medio marino-costero

En el **Cuadro 29** se sintetizan los resultados de la valoración de los indicadores empleados y del estado ecológico final para cada sitio de muestreo. En resumen, todos los sitios se han clasificado con un ESTADO ECOLÓGICO MUY BUENO.

CUADRO 29. VALORACIÓN FINAL DEL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS SITIOS DE MUESTREO

| CODIGO SITIO MUESTREO | CALIDAD FQ | CALIDAD QA | CALIDAD QS | CALIDAD BB | ESTADO ECOLÓGICO FINAL |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------------------|
| HB-R3                 | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |
| HB-R33                | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |
| HB-R12                | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |
| HB-R15                | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |
| HB-R18                | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |
| HB-T1                 | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |
| HB-T2                 | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |
| HB-CE                 | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |
| HB-E10                | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |
| HB-E4                 | BUENA      | BUENA      | BUENA      | MUY BUENO  | MUY BUENO              |

NOTAS. CALIDAD F-Q: calidad físico-química del agua; CALIDAD QA: calidad química del agua; CALIDAD QS: calidad química del sedimento; CALIDAD BB: calidad biológica del bentos marino.

## 9. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas en el monitoreo de los ecosistemas marino-costeros completado los días 19 al 22 de marzo de 2024 en la zona de Punta Rincón en el Proyecto Mina de Cobre Panamá, se resumen en los siguientes puntos:

### Agua de mar

- Las medidas de parámetros físico-químicos del agua marina medidos *in situ*, indican unas condiciones propias del mar Caribe para la época, con moderada a alta concentración de oxígeno disuelto y conductividades y pH propias de agua de mar. La turbidez del agua ha sido muy baja, destacándose que en ningún sitio de monitoreo se incumple el Decreto Ejecutivo N° 75 de 4 de junio de 2008, lo que indica para estos parámetros ausencia de contaminación.
- De los resultados medidos en laboratorio, destacan los análisis de metales pesados (disueltos o totales), nutrientes (fosfatos, fósforo total y series del nitrógeno) y otros compuestos (aceites y grasas, DBO5, DQO) que se han mantenido en valores muy bajos y también en muchos casos no han alcanzado valores correspondientes al límite de detección de los métodos analíticos empleados.
- Los hidrocarburos totales del petróleo han presentado valores por debajo del límite de detección (<0,002 mg/L), inclusive en las zonas más próximas al puerto.
- Por consiguiente, y teniendo en cuenta los resultados analíticos del laboratorio en agua de mar, no se aprecia contaminación del medio marino-costero asociado con las actividades del puerto o de la mina, cumpliéndose con la norma de Panamá (Decreto Ejecutivo N° 75).

### Composición del sedimento

- La composición granulométrica del sedimento es relativamente homogénea entre los diferentes sitios. En los fondos blandos, predominan las arenas finas a medias (sobre el 80-90%), sin diferencias significativas entre las muestras.
- No se aprecia en el sedimento efectos asociados con las actividades del puerto o de la Mina, debido al escaso porcentaje de limos o arcillas presentes en los de los sitios someros (más próximos a la costa y potencialmente influenciados) y los más profundos.

### Análisis de los sedimentos

- En las muestras de sedimentos, el cianuro total se mantiene siempre por debajo del límite de detección (LD) de 0,25 mg/kg. Los Hidrocarburos Totales de Petróleo también aparecen con concentración en sedimentos por debajo de los LD de 1,9 mg/kg del método analítico o en bajas concentraciones (<25 mg/kg), lo que indica una concentración muy baja o no detectable. Las concentraciones de aceites y grasas son

variables y se encuentran dentro de rangos normales (50-200 mg/kg). El COT se mantiene en rangos de 0,07-3,4%, correspondiente a bajos valores de materia orgánica.

- Las concentraciones de arsénico se han mantenido en todos los sitios por debajo del valor guía (41,6 mg/kg) y superiores al valor de efectos globales (7,24 mg/kg) de la norma canadiense de referencia. Las concentraciones de cobre solo han superado el valor de efectos globales (18,7 mg/kg) en los sitios HB-R12 (20,3 mg/kg) y HB-T1 (24,5 mg/kg), estando por debajo del valor guía (108 mg/kg) en el resto de sitios. Las concentraciones del resto de metales pesados en sedimentos han estado en todos los sitios de monitoreo por debajo de los valores guía, con concentraciones por debajo de los límites de cuantificación para de cadmio (<0,1 mg/kg) y plomo (<3 mg/kg).
- Cabe destacar, que estos límites se han tomado en el presente trabajo como valores de referencia, al no disponer Panamá de legislación al respecto. Estos valores están asociados con unos efectos probables en la biota propia de las aguas frías de Canadá, sin relación probada con los efectos en la biota de las aguas subtropicales de la costa del Caribe en Panamá.

### Metales pesados en peces

- Al no disponer Panamá de normas de referencia para valorar el grado de contaminación por metales pesados en peces, se ha considerado en este trabajo como referencia las normas europeas de los Reglamento CE 104/2000 y Reglamento CE 466/2001 de 8 de marzo de 2001. Las concentraciones de metales pesados en tejidos del pez león han sido muy bajas en todos los sitios de muestreo y por debajo de los límites utilizados como referencia en las normas europeas.

### Comunidades de fondos duros

- En las zonas someras, los porcentajes de sustrato sin colonizar fueron en HB-R12 un 86%; para HB-R15 un 84% y para HB-R18 un 84%. Estos porcentajes de arena han podido variar en los diferentes monitoreos, ya que el arrastre de sedimentos y su depósito en estos sitios por la corriente pueden estar afectados por la dominancia de los vientos o el caudal sólido de los ríos que vierten a esta zona, especialmente el río Caimito.
- Los parámetros estructurales (diversidad, número de taxones, etc) de las diferentes comunidades biológicas (corales, esponjas, etc) de los hábitats de fondos duros, son semejantes a los registrados en años anteriores y sin cambios destacables con respecto al monitoreo considerado como línea base.
- Se concluye que no se ha observado cambios estructurales en la comunidad de fondos duros, manteniendo una biodiversidad propia de este tipo de fondos para las aguas costeras del Caribe.

### Comunidades de fondos blandos

- Del análisis de la densidad por localidades monitoreadas se puede señalar que los sitios HB-R18 y HB-R15 presentaron las mayores densidades, con 1244 ind/m<sup>2</sup> y 1171 ind/m<sup>2</sup> respectivamente, seguido de las estaciones HB-R12 con 1157 ind/m<sup>2</sup> y HB-R33 con 683 ind/m<sup>2</sup>. La de menor abundancia fue la estación HB-CE con 90 ind/m<sup>2</sup>, posiblemente relacionada con una mayor inestabilidad del sustrato. Los moluscos dominan claramente la comunidad en todos los sitios de monitoreo, seguido de los anélidos poliquetos.
- Las comunidades del bentos de fondos blandos carecen de efectos debidos a contaminación por aportes procedentes de las actividades en la mina y puerto, con especies características de estados no contaminados y que presentan una organización estructural evolutiva propia de los ecosistemas en los que se desarrollan.

### Comunidades de peces

- En los fondos profundos, se han inventariado un total de 210 individuos/10<sup>3</sup> m<sup>2</sup> entre HB-R3 y HB-R33. La especie más abundante fue *Acanthurus bahianus* (10-13%), seguido de un amplio grupo de especies que aparecen de forma común en este tipo de fondos duros. Destacan las especies *Caranx latus* (4-10%), *Pterois volitans* (9-10%), *Lutjanus cyanopterus* (5-9%) y *Pomachancus paru* (5-9%). En este monitoreo se constató la presencia del tamboril (*Canthigaster rostrata*) con densidades muy bajas (inferior a 5%).
- En los monitoreos de fondos someros se han registrado un total de 426 individuos/1000 m<sup>2</sup>. El número de taxones registrados fue similar en los sitios HB-R12, HB-R15 y HB-R18 (25, 27 y 24). Las especies más abundantes en HB-R12-HB-R15-HB-R18 fueron *Acanthurus bahianus* (10-4-7%), *Pterois volitans* (10-4-7%) y *Microspathodon chrysurus* (Cuvier, 1830). *Canthigaster rostrata* solo se ha registrado en el sitio HB-R15, con muy baja densidad /inferior al 5%).
- Para HB-T2 también se se registró la especie *Bodianus rufus*, ya que estos fondos no reúnen características funcionales para sustentar poblaciones de peces, debido a la fuerte corriente y ausencia de refugios y nichos tróficos.

### Estudio específico del pez león

- La abundancia relativa de esta especie en el presente monitoreo fue de 5-10% para el fondo somero y de 10% para el fondo profundo. Se observa que la especie ha registrado porcentajes y densidades muy variables, con un mayor número entre los años 2016 y 2018 y el año 2023 y, con menor densidad en los años 2019-2021. Aparentemente, la población ha llegado a su estabilidad poblacional en la zona.

### Estudio específico de tamborín

- Se han registrado muy pocos individuos del pez tamboril (inferior al 5%) únicamente en los sitios HB-R3 y HB-R15. Se destaca que los resultados en el gráfico solo expresan los obtenidos en los monitoreos marino-costeros, no recogiendo otros *blooms* que ha tenido la especie durante estos años.

### Estudio del rompeolas

- Se sigue registrando una progresiva colonización por grupos biológicos de las rocas del rompeolas en su parte interna que parece se va afianzando con el tiempo, con la presencia de corales y primeras formas de esponjas.
- Se aprecia una clara diferencia entre los valores de abundancia (densidad) y los índices de diversidad de la comunidad de peces de la parte externa con respecto a la interna, con una comunidad mejor estructurada y más diversa en los transectos no expuestos a mar abierto y situados en el interior del rompeolas.
- Los resultados obtenidos -al igual que los registrados en años anteriores-, indican que el rompeolas sirve como hábitat para las diferentes comunidades biológicas, contribuyendo a que aparezca en la zona del puerto una mayor riqueza y abundancia de especies bentónicas y pelágicas litorales.

### Estudio de larvas y huevos de peces en el intake

- Tanto el recuento de huevos, como el de larvas de peces fue relativamente bajo (24-29 ind/m<sup>3</sup> para larvas y 30-35 ind/m<sup>3</sup> para huevos), con densidades inferiores a las que se pueden encontrar en mar abierto y que son del orden de 50-100 ind/m<sup>3</sup> para huevos y de 30-50 ind/m<sup>3</sup> para larvas en el Caribe.
- Por su parte, la composición de especies en las larvas analizadas refleja en cierta medida la composición de peces registrada en los monitoreos en el rompeolas y sitios someros. Destacan las larvas de dos especies *Acanthurus bahianus* y *Carangoides bartolomae*, de bajo valor pesquero y comercial en la zona y que representa porcentajes que llegan al 50%.
- El resto de larvas se corresponden con especies también presentes en la zona, aunque con porcentajes muy bajos e inferiores al 10%. Son especies muy comunes en las zonas tropicales y el Caribe, con un bajo valor pesquero y económico, no siendo objeto de explotación pesquera por las comunidades locales.

### Evolución de los indicadores ambientales

- La tendencia de los indicadores biológicos de los años en los que se han completado monitoreos indica variaciones poco significativas, sin cambios en los parámetros estructurales de la biocenosis.

- Se concluye que las condiciones generales analizadas han variado muy poco con respecto a la línea base, no apreciándose una tendencia a desmejorar el estado de salud de los ecosistemas marino-costeros (bióticos) asociados con las actividades de la mina y el puerto.

### **Evolución del indicador del estado ecológico**

- Las comunidades del bentos estudiadas indican, a través de las especies sensibles que las forman, unas MUY BUENAS condiciones del medio marino.
- Los parámetros físico-químicos analizados en el agua, sedimento y biota cumplen con los límites legales en Panamá o los establecidos en la legislación de referencia, con un estado de calidad valorado como BUENO.
- Se concluye que los sitios presentan un estado ecológico del medio marino clasificado como MUY BUENO.

### **Eficacia de los mecanismos de control**

- Teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas en los puntos anteriores, se destaca que los mecanismos de control establecidos están siendo efectivos para la protección del medio marino-costero en Punta Rincón.



## 10. BIBLIOGRAFÍA

### PECES

ALLEN, G.R. 1985. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species known to date. FAO Fish Synopsis 6(125): 1-208.

ANAM. 2008. RESOLUCIÓN No. AG-0051-2008 “Por la cual se reglamenta a las especies de fauna y flora amenazadas y en peligro de extinción, y se dictan otras disposiciones”. Gaceta oficial No. 26013 del 7 de abril de 2008.

BOHLKE, J.E. & C.G. CHAPLIN. (2 ed.). 1993. Fishes of the Bahamas and Adjacent Tropical Watersn. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, University of Texas Press, USA, 771 pp.

BROCK RE. 1982. A critique of the visual *census* method for assessing coral reef fish populations. Bulletin of Marine Science 32(1): 269-276.

BUSSING, W.A. 1987. Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José, 271 p.

BUSSING, W.A. 1998 (2 ed.) Peces de las Aguas Continentales de Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Rev. Biol. Trop. vol. 46, supl. 2: 1-468.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002a. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 2: Bony Fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae). FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO pp 601-1374.

CARPENTER, K.E. (ed.). 2002b. The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 3: Bony fishes part 2 (Opistognathidae to molidae), sea turtles and marine mammals. FAO Species Identification Guide for Fishery Purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication No. 5. Rome, FAO p 1375-2127.

HB-CERVIGON, F. 1966. Los Peces Marinos de Venezuela. Tomo I y II. Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Caracas. 1-951 pp.

HB-CERVIGON, F. & W. FISCHER. 1979. INFOPESCA: Catálogo de Especies Marinas de Interés Económico Actual o Potencial para América Latina. Parte I- Atlántico Centro y Suroccidental. FAO/UNDP, SIC/79/1, Roma, 372 pp.

HB-CERVIGON, F., R. CIPRIANI, W. FISCHER, L. GARIBALDI, M. HENDRICKX, A.J. LEMUS, R. MARQUEZ, J.M. POUTIERS, G. ROBAINA & B. RODRIGUEZ. 1992. Fichas FAO de identificación de las especies para los fines de la pesca. Guía de Campo de las Especies Comerciales Marinas y de Aguas Salobres de la Costa Septentrional de Sur América.

Preparado con el financiamiento de la Comisión de Comunidades Europeas y de NORAD. Roma, FAO, 1992. 513 pp.

CHRISTOPHER R.B., & OLDEN, J.D. 2011. Multi-scale habitat occupancy of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in coral reef environments of Roatan, Honduras. *Aquatic Invasions* 6 (3): 347–353.

COLLETTE, B.B. & C. E. NAUEN. 1983. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. FAO Fish Synopsis 2(125): 1-137.

FISCHER, W. (ed.). 1978. FAO Identification Sheets for Fishery Purposes: Western Central Atlantic (Fishing Area 31), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, vol. 1-7: pag. var.

FROESE, R. & D. PAULY. (ed.). 2013. FishBase, World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), versión (04/2013).

HEEMSTRA, P.C. & J.E. RANDALL. 1993. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. FAO Fisheries Synopsis 16(125): 1-382.

HUMANN, P. 1997. (3ra. ed.). Reef Fish Identification: Florida, Caribbean, Bahamas. Paramount Miller Graphics Inc., Florida, 396 pp. + app.

JÁCOME, G. 2001. La pesca y el deterioro de los arrecifes en el Caribe y Panamá. Pp. 200-206. En: S. Heckadon-Moreno (Editor). Panamá: Puente Biológico. Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Panamá, 233 p.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1923. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (215): 1-330.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1925. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (226): 331-708.

MEEK, S.E. & S.F. HILDEBRAND. 1928. The Marine Fishes of Panama. Field. Mus. Nat. Hist. Zool. Ser. Vol. XV (249): 709-1045.

PERRY, J.A. & S.D. PERRY. 1974. Los Peces Comunes de la Costa Atlántica de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Departamento de Biología, Serie Ciencias naturales No. 7, 225 p.

PLAN DE ACCIÓN DE BIODIVERSIDAD (PAB). Minera Panamá. S.A. Versión 2.0. Junio de 2011. 264 pp.

RANDALL, J.E. 1968. Caribbean Reef Fishes. T.F.H. Publications Inc., Neptune City, N.J., 318 pp.

SCHOFIELD, P. 2009. Geographic extent and chronology of the invasion of non-native lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus 1758] and *P. miles* [Bennett 1828]) in the Western North Atlantic and Caribbean Sea. *Aquat Invasions* 4:473–479.

## FONDOS DUROS

Calder, D.R. and L. Kirkendale. 2005. Hydroids (Cnidaria, Hydrozoa) from shallow-water environments along the Caribbean coast of Panama. *Caribbean Journal of Science* 41: 476-491.

Collin, R., M. C. Díaz., J. Norenburg., R.M. Rocha, J.A. Sanchez., A. Schulze, M. Schwartz and A. Valdés. 2005. Photographic identification guide to some common marine invertebrates of Bocas del Toro, Panama. *Caribbean Journal of Science*. Vol. 41(3): 367-638. Gingsbur R. 1999. <http://www.agrra.org/updates/metodo.html>.

Humann, P. and N. Delpachach. 2006. Reef Fish Identification – Florida, Caribbean, Bahamas. 3rd Edition. New World Publications, Inc. USA. 480 pp. STRI Bocas Data Base, 2012. ([www.stri.org](http://www.stri.org)).

Veron, J.E.N. 2000. Corals of the world. Stafford-Smith, M. (ed). Australian Institute of Marine Science. Volumen I. 463 p.

Zea, Sven. 1998. Estado actual del conocimiento en Sistemática de Esponjas Marinas (Poríferas) del Caribe Colombiano. *Boletín Ecotrópica: Ecosistemas Tropicales* N° 33: 45-59.

## BENTOS MARINO

Abbott, R. T. 1954. American Shells. D. Van Nostrand company, Inc. 541 pp.

Fauchald, K. 1984. Preface. En *Taxonomic Guide to the Polychaetes of the Northern Gulf of Mexico*. Eds. J. M. Uebelecker & P. G. Johnson. Mobile: Barry A. Vittor and Associates, págs. iv-v.

Ferrero-Vicente, L.M. et al., 2011. Soft-bottom sipunculans from San Pedro del Pinatar (Western Mediterranean): influence of anthropogenic impacts and sediment characteristics on their distribution. *Animal Biodiversity and Conservation*. 34, 101-111.

Garcés, H. 1994. El Bentos Marino. *Scientia Edición Especial*. 111-117.

Gray, J.S. 1981. The ecology of marine sediments. Cambridge University Press. London. 185 pp.

Keen, M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Stanford, California. 1000 pp.

Levinton, J. 1982. Marine Ecology. Printice Hall Inc. New York. U.S.A. 526 pp.

Liñeros, I. 1997. Poliquetos Bénticos de Venezuela. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Cumaná. Pp. 148.

Morales- N. A. G., D. E. Alston & A. Cabarcas. 2003. Preliminary effects of open-ocean cages on benthic maroinvertebrate populations. April 3, 2003. VIII Sigma Xi Poster Day.

Rodríguez, G. 1980. Los Crustáceos del Caribe Venezolano. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas. 494 pp.

SALAZAR-VALLEJO, S.I., J.A. DE LEÓN-GONZÁLEZ Y H. SALAIHB-CES-POLANCO. 1989 (1988). Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México. Libros, Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, 212 p.

Villalaz, J., C., A. Vega., J. Ávila & J. A. Gomes. 2002. Análisis Temporal de Macroinvertebrados Bentónicos en Playa el Agallito, Chitré. Tecnociencia. Vol.4. 2:111-126.

Warwick, R. & M. Ruswahyuni. 1987. Detection of pollution effects on marine macrobenthos: Further evaluation of the species abundance- biomass method. Mar. Biol., 95: 193-200.

### **BIBLIOGRAFIA SOBRE MORTANDAD DEL TAMBORÍN NARIZÓN**

Arrieta, A. U. (2013). Estructura de la comunidad de peces de la zona arrecifal de Puerto Viejo-Punta Mona, Limón, Costa Rica. Unpublished master's thesis, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica.

Barrantes, N. (2010). Programa interpretativo del ecosistema marino de la Isla Quiribrí (Uvita), Limón. Unpublished licentiate's thesis, Universidad de Costa Rica, Montes de Oca, Costa Rica.

Berlinsky, D. L., Taylor, J. C., Howell, R., Bradley, T. M. & Smith, T. I. (2004). The effects of temperature and salinity on early life stages of black sea bass *Centropristis striata*. J. World Aquacult. Soc., 35(3), 335-344. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2004.tb00097.x>

Castillo, A. & Pérez, E. (2014). Aparecen muertos miles de peces Uas Moldugwas, de la especie, *Canthigaster rostrata*, en los Archipiélagos del Caribe Panameño. Gubiler. Retrieved on September 14, 2017 from <http://gubiler.blogspot.com/2014/11/aparecen-muertos-miles-de-peces-uas.html>

Cortés, J., Fonseca, A. C., Nivia-Ruiz, J., Nielsen-Muñoz, V., Samper-Villarreal, J., Salas, E., Martínez, S. & Zamora-Trejos, P. (2010). Monitoring coral reefs, seagrasses and mangroves in Costa Rica (CARICOMP). Rev. Biol. Trop., 58(3), 1-22.

Debrot, A. O. & Nagelkerken, I. (1997). A rare mass recruitment of the balloonfish (*Diodon holocanthus* L.) in the Leeward Dutch Antilles, 1994. Caribb. J. Sci., 33(3-4), 284-286.

Gutiérrez, T. (2014). Pescadores reportan miles de peces muertos en las playas del Caribe Sur. CRhoy. Retrieved on January 29, 2018 from <http://www.crhoy.com/archivo/pescadores-reportan-miles-de-peces-muertos-en-las-playas-del-caribe-sur-v3l7l8x/>

Holt, R. E. & Jørgensen, C. (2015). Climate change in fish: effects of respiratory constraints on optimal life history and behavior. Biol. Lett., 11, 1-5. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.1032>

El Isleño. (2017). Investigan muerte masiva de peces en San Andrés. Retrieved on September 14, 2017 from [http://www.elisleño.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13259:investigan-muerte-masiva-de-peces-en-varios-sectores-de-la-isla&catid=41:ambiental&Itemid=83](http://www.elisleño.com/index.php?option=com_content&view=article&id=13259:investigan-muerte-masiva-de-peces-en-varios-sectores-de-la-isla&catid=41:ambiental&Itemid=83).

Jordán-Garza, A. G., Díaz-Almeyda, E. M., Iglesias-Prieto, R., Maldonado, M. A. & Ortega, J. (2009). Mass mortality of *Canthigaster rostrata* at the northeastcoast of the Yucatan Peninsula. Coral Reefs, 28, 661. <https://doi.org/10.1007/s00338-009-0492-x>.

Kirtisinghe, P. (1934). Parasitic infection of porcupine fish. Nature, 133, 142. <https://doi.org/10.1038/133142a0>

Ochoa, J. L., Sánchez-Paz, A., Cruz-Villacorta, A., Núñez-Vázquez, E. & Sierra-Beltrán, A. (1997). Toxic events in the northwest Pacific coastline of Mexico during 1992-1995: origin and impact. Hydrobiologia, 352(1-2), 195-200. <https://doi.org/10.1023/A:1003015103760>

Piedra-Castro, L. (2017). Estrategia de manejo de recursos ecosistémicos marino-costeros en el Caribe Sur de Costa Rica, orientadas orientada a la adaptación a la variabilidad climática de las comunidades costeras. Unpublished doctoral dissertation, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Schaper, S. (1996). La comunidad de peces en el arrecife de Puerto Viejo (Limón, Costa Rica). Rev. Biol. Trop., 44(2), 923-925.

Shi, Y. H., Zhang, G. Y., Zhu, Y. Z., Liu, J. Z. & Zang, W. L. (2010). Effects of temperature on fertilized eggs and larvae oftawny puffer Takifugu flavidus. Aquacult. Res., 41(12), 1741-1747. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02460.x>

Sikkel, P. C. (1990). Social organization and spawning in the Atlantic sharpnose puffer, *Canthigaster rostrata* (Tetraodontidae). Environ. Biol. Fish., 27(4), 243-254. <https://doi.org/10.1007/BF00002743>.

Stier, A., Idjadi, J., Geange, S. & Jada-Simone, W. (2013). High mortality in a surgeonfish following an exceptional settlement event. Pac. Sci., 67(4), 533-538. <https://doi.org/10.2984/67.4.4>.

Trujillo, O. (2009). Dinámico de reclutamiento de peces de arrecife rocoso del suroeste del Golfo de California. Unpublished doctoral dissertation. Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Mexico.

Universidad de Costa Rica. (2016). Módulo de Información Oceanográfica. Retrieved on January 29, 2018 from <http://miocimar.ucr.ac.cr/content/temperatura-superficial-del-mar-24>.

Vali, A. L. & Sinclair-Taylor, T. (2011). Mass schooling and mortality of *Canthigaster bennetti* in Sulawesi. Coral Reefs, 30(1), 251-251. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0706-2>.

## **BIBLIOGRAFÍA GENERAL**

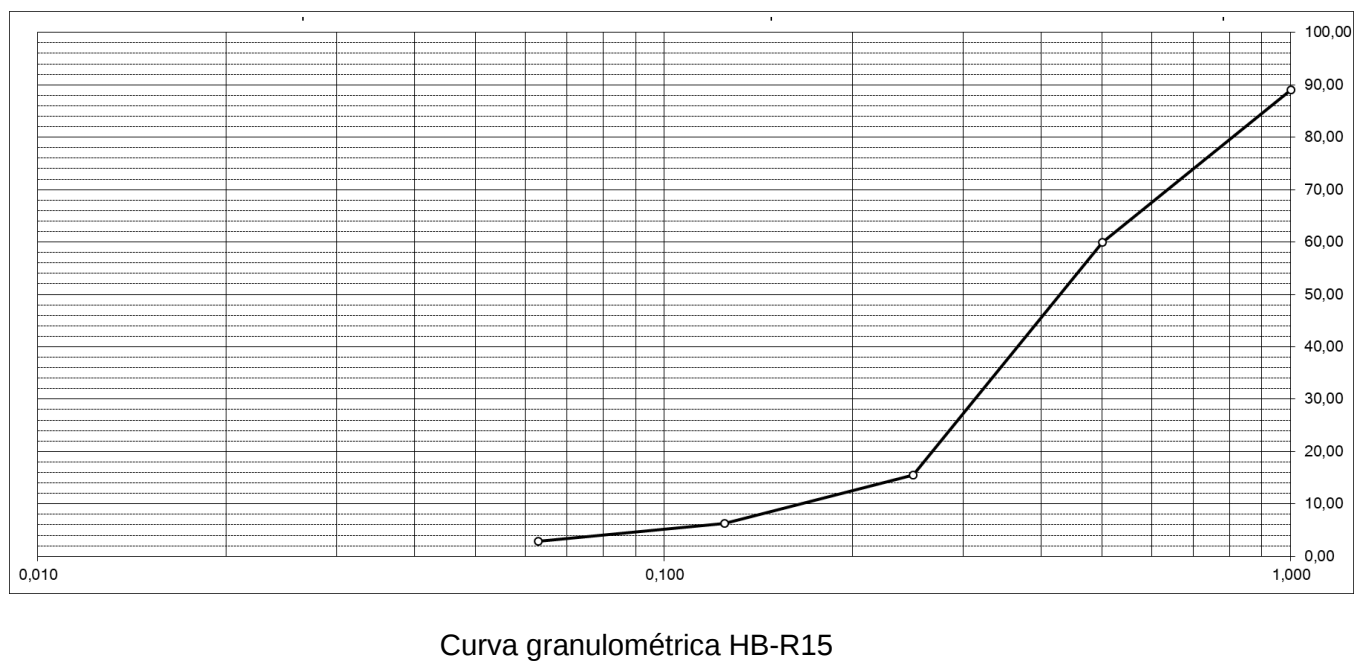
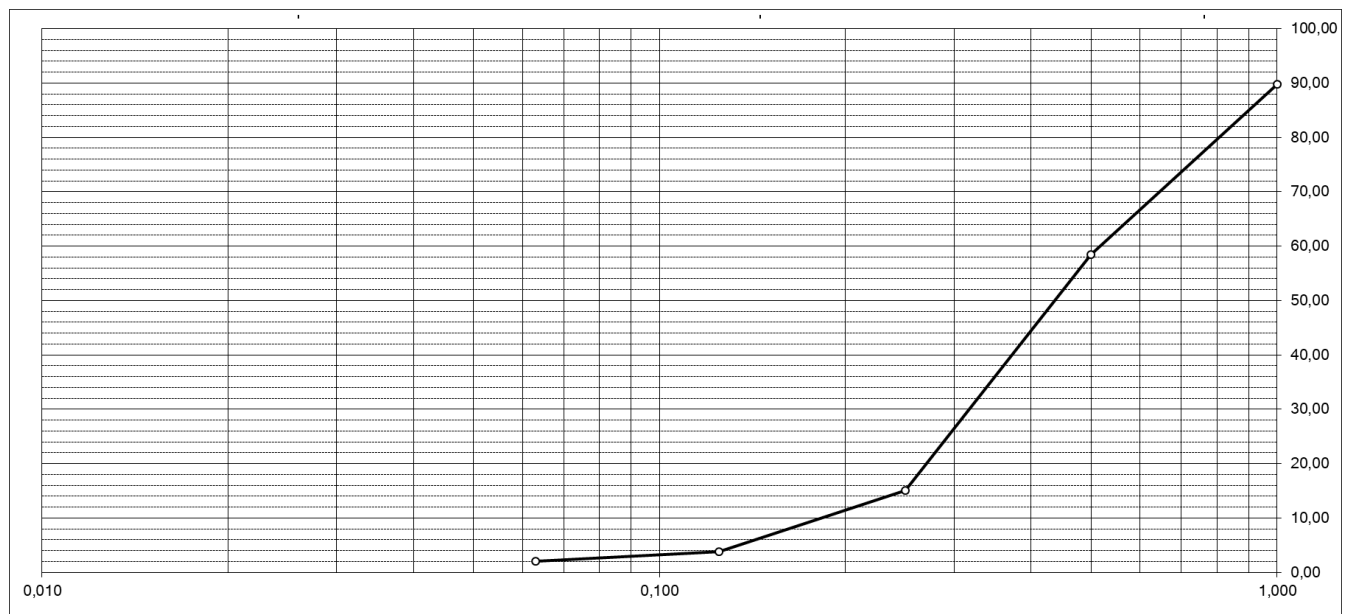
DMA, Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

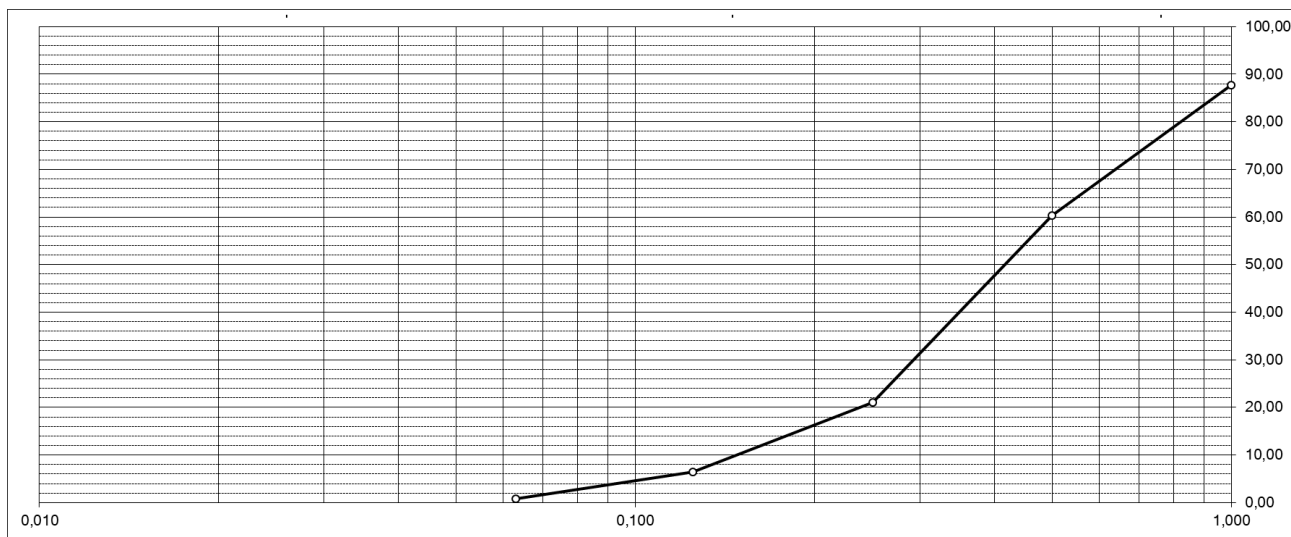
---

GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL ESTADO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS. MITECO (España). 2021.

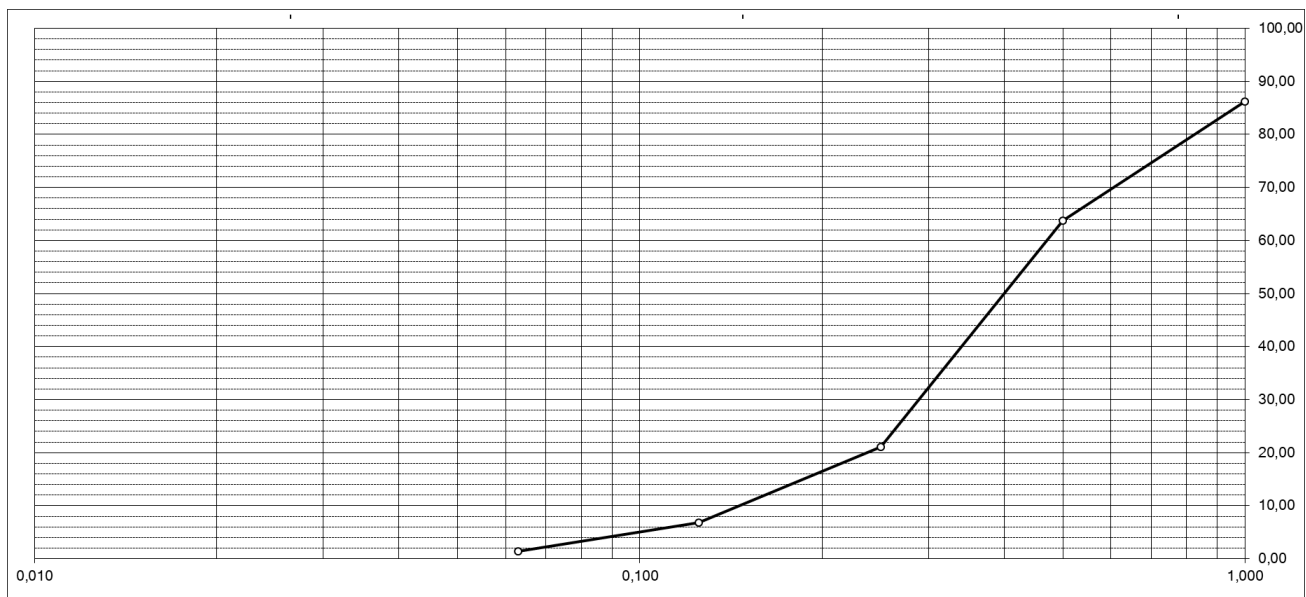


**ANEXO 1**  
CURVAS GRANULOMÉTRICAS DEL SEDIMENTO

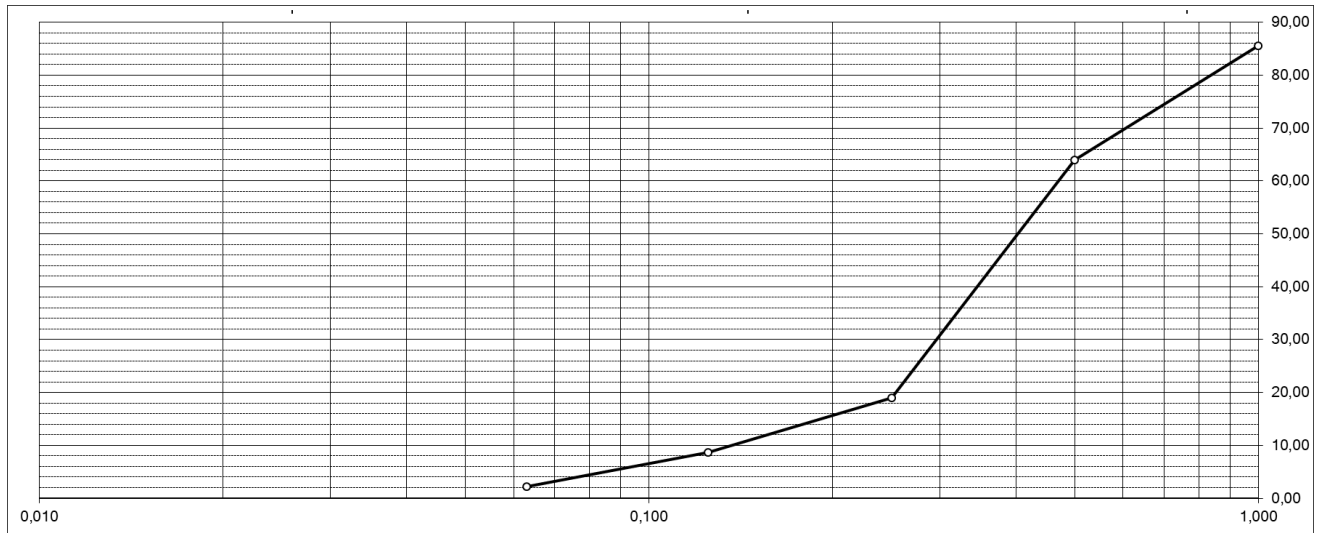




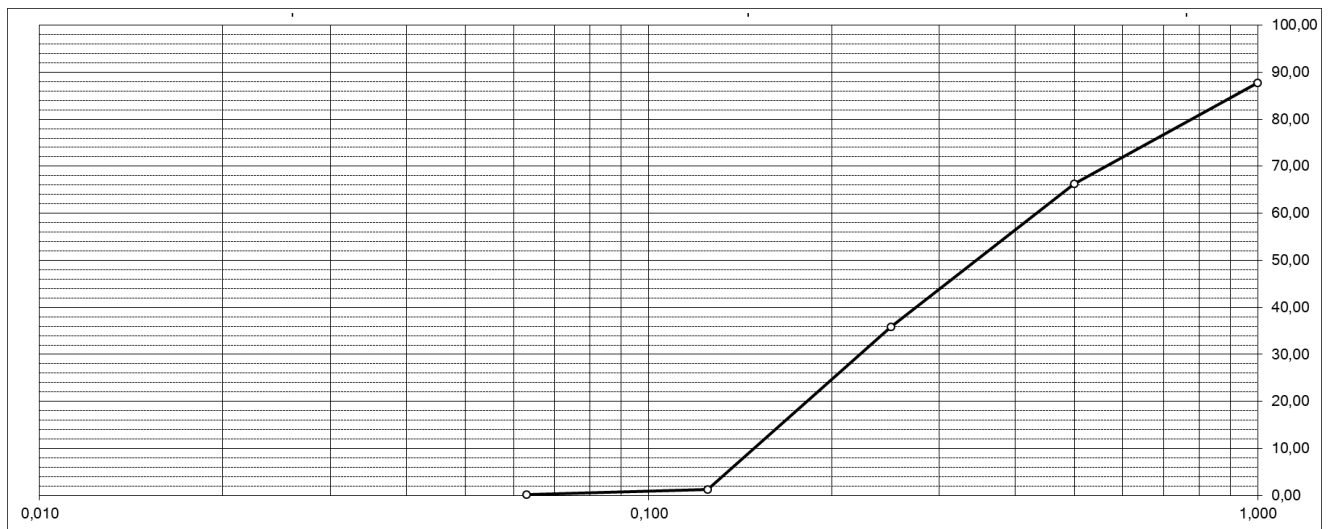
Curva granulométrica HB-R18



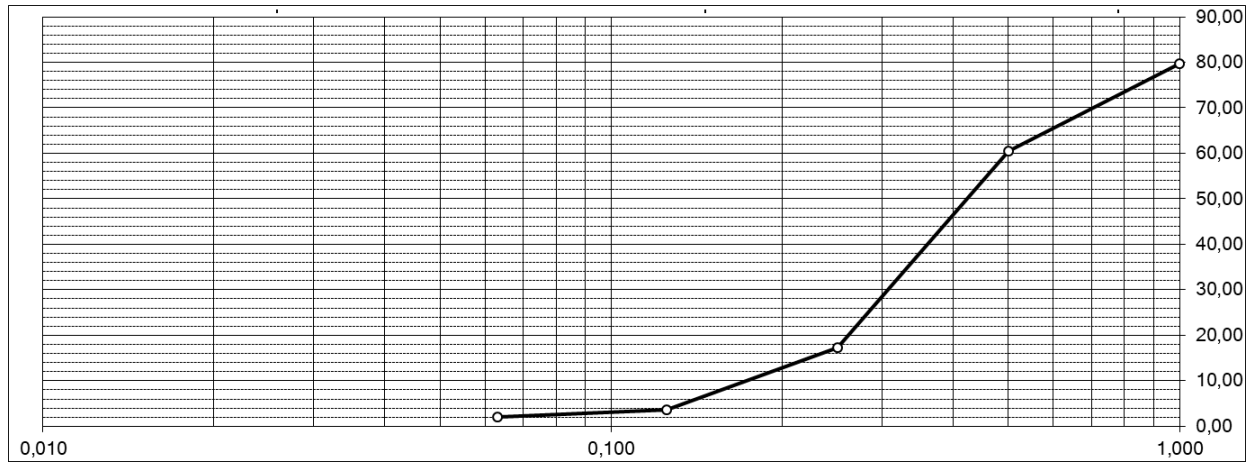
Curva granulométrica HB-R3



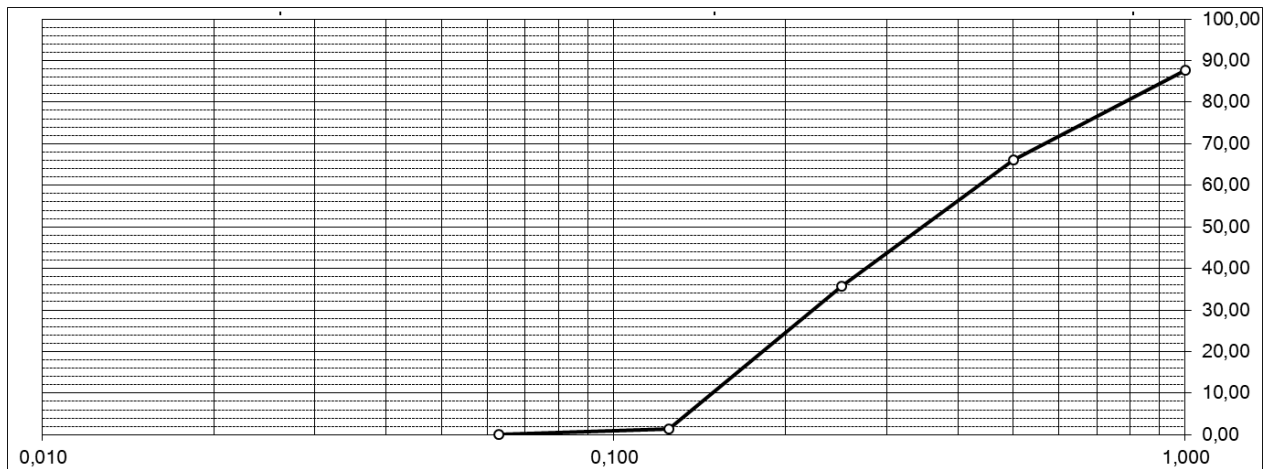
Curva granulométrica HB-R33



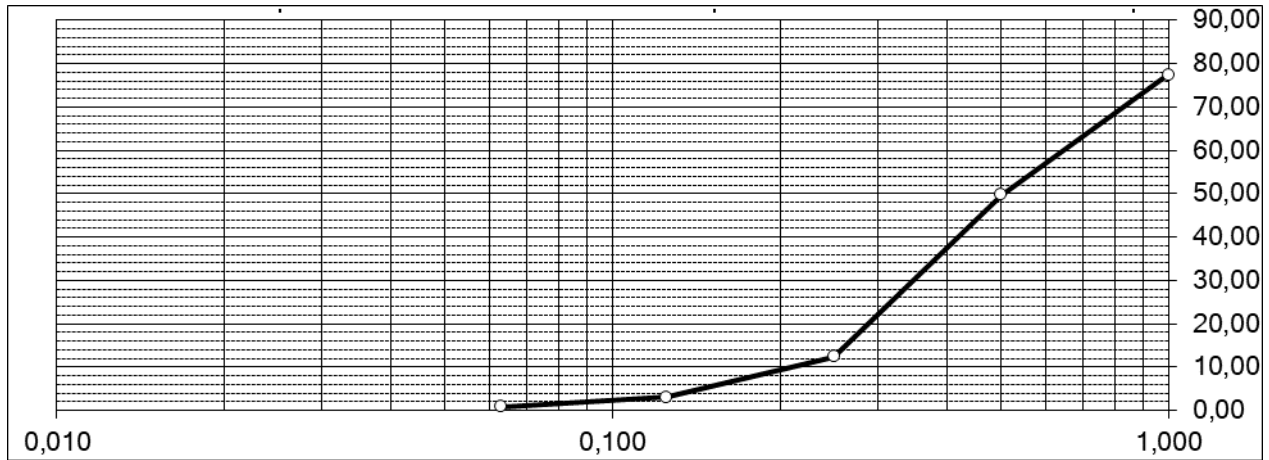
Curva granulométrica HB-CE



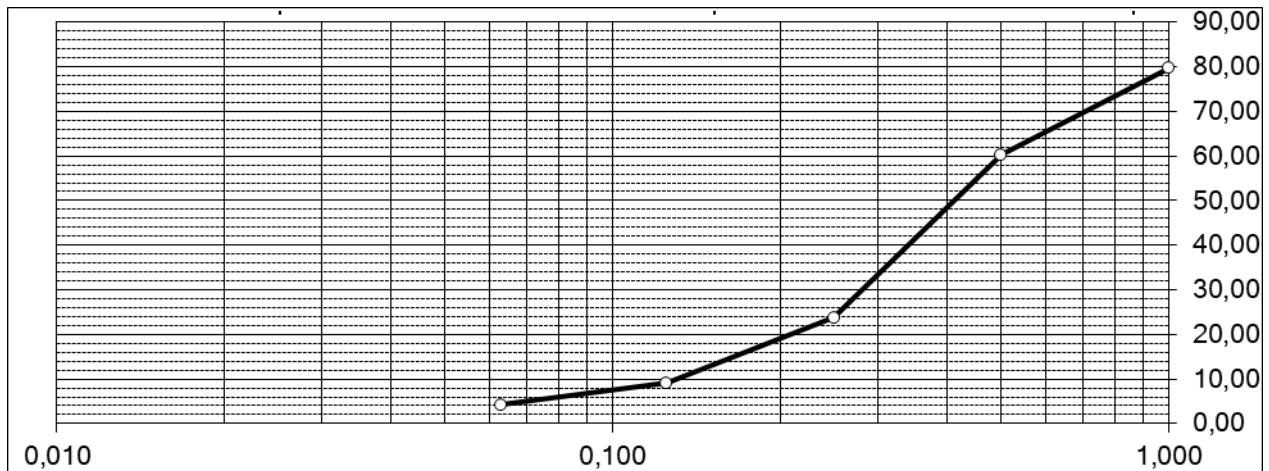
Curva granulométrica HB-T1



Curva granulométrica HB-T2



Curva granulométrica HB-E4



Curva granulométrica HB-E10